

VŠB - Technická univerzita Ostrava

Fakulta stavební

Katedra konstrukcí

**Návrh železobetonové konstrukce bytového domu**

Design of reinforced concrete structure of apartment building

Student:

Bc. Jan Hučík

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Pavlína Matečková, Ph.D.

Ostrava 2021

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta stavební  
Katedra konstrukcí

## Zadání diplomové práce

Student:

**Bc. Jan Hučík**

Studijní program:

N0732A260003 Stavební inženýrství - Konstrukce staveb

Téma:

Návrh železobetonové konstrukce bytového domu  
Design of reinforced concrete structure of apartment building

Jazyk vypracování:

čeština

Zásady pro vypracování:

Cílem diplomové práce je návrh a posouzení železobetonové konstrukce bytového domu. Dispozice bytového domu vychází ze studie, zpracované na FAST. Konstrukce bude modelována pomocí vhodného softwaru na bázi metody konečných prvků. Bude proveden výpočet zatížení a účinků zatížení a návrh vodorovných a svislých nosných prvků železobetonové konstrukce pro mezní stav únosnosti a použitelnosti. Bude proveden návrh základové konstrukce. Součástí práce jsou výkresy výztuže navržených prvků.

Seznam doporučené odborné literatury:

ČSN EN 1991 Eurokód 1: Zatížení stavebních konstrukcí.

ČSN EN 1992-1-1 Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí, Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Pavlína Matečková, Ph.D.**

Datum zadání:

28.02.2020

Datum odevzdání:

27.11.2020



prof. Ing. Antonín Lokaj, Ph.D.  
vedoucí katedry

prof. Ing. Radim Čajka, CSc.  
děkan fakulty

---

**Prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucí diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě .....

Jan Hučík .....

**Prohlašuji, že**

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – užití dílo v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.

- беру на ве́домии, же́ Высшая школа́ ба́нская – Техни́ческая универси́тета Остра́ва (да́ле же́ VŠB-TUO) ма́ пра́во нево́двече́нно к сво́ей вну́тренней потре́бе дипло́мовую ра́боту ужи́ть (§ 35 одст. 3).

- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.

- беру на ве́домии, же́ оdevздáнием сво́ей ра́боты souhlasím s její́м zveřejně́ním dle zá́kona č. 111/1998 Sb., о́ высо́ких шко́лах а́ доплне́не о́ да́льшие за́коны, ве́ зне́нии по́здее́jších пре́дписи́й, бе́з о́hledу на́ ре́зультат její́ о́бха́юбы.

V Ostravě .....



**Anotace**

HUČÍK, J.: Návrh železobetonové konstrukce bytového domu: Diplomová práce

VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta stavební, Katedra konstrukcí, 2020

Vedoucí práce: Ing. Pavlína Matečková, Ph.D.

Úkolem diplomové práce bylo navržení a posouzení železobetonové konstrukce se zděnými stěnami bytového domu s detailnějším zaměřením na mezní stav použitelnosti balkónů. Diplomová práce se soustředí na statický výpočet – výpočet zatížení, návrh a posouzení vybraných železobetonových prvků a základů. V přílohách diplomové práce jsou zpracovány výztuže žebra desky a výztuže desek.

**Klíčová slova**

Zděné nosné konstrukce, návrh a posouzení konstrukce, základy, stropní deska, základová deska, balkón, zatížení, mezní stav použitelnosti

**Anotation**

HUČÍK, J. : Design of a reinforced concrete structure of an apartment building: Diploma thesis

VŠB - Technical University of Ostrava, Faculty of Civil Engineering, Department of Structures, 2021

Leader: Ing. Pavlína Matečková, Ph.D.

The task of the diploma thesis was to design and assess the reinforced concrete structure of an apartment building with a more detailed focus on the limit state of usability of balconies. The diploma thesis focuses on static calculation - load calculation, design and assessment of selected reinforced concrete elements and foundations. The attachments of the diploma thesis deal with the reinforcements of the plate rib and the reinforcements of the plates.

**Key words**

Masonry load-bearing structures, design and assessment of structures, foundations, ceiling slab, foundation slab, balcony, load, serviceability limit state

**Poděkování**

Děkuji paní Ing. Pavlíně Matečkové, Ph.D. za odborné vedení a cenné rady.

Dále děkuji panu Ing. Davidu Mikoláškoví, Ph.D. a panu Ing. Přemyslu Pařenicovi za pomoc při zpracovávání modelů.

A nakonec děkuji Mgr. Zuzaně Žižkové za jazykovou úpravu práce.

**Obsah**

|   |    |
|---|----|
| Seznam použitého značení .....  | 10 |
| 1. Úvod .....   | 13 |
| 1.1 Studie objektu .....  | 13 |
| 1.2 Popis objektu .....   | 13 |
| 1.3 Konstrukční řešení stavby.....  | 15 |
| 1.3.1 Založení objektu .....  | 15 |
| 1.3.2 Svislé nosné konstrukce .....   | 16 |
| 1.3.3 Vodorovné nosné konstrukce.....   | 18 |
| 2. Tvorba numerického modelu .....  | 20 |
| 2.1 Tvorba modelu obecně.....   | 20 |
| 2.2 Vodorovné nosné konstrukce (desky) .....  | 21 |
| 2.3 Svislé nosné konstrukce .....   | 22 |
| 2.3.1 Vliv ortotropie zdiva (součinitele klenbového roznosu) na výsledné vnitřní síly .....   | 23 |
| 2.3.2 Betonový rám .....  | 25 |
| 2.4 Základy.....  | 27 |
| 2.5 Síť.....  | 28 |
| 3. Zatížení na modelu .....   | 29 |
| 3.1 ZS1 - vlastní tíha konstrukce.....  | 29 |
| 3.2 ZS2 – ostatní stálá zatížení .....  | 29 |
| 3.3 Klimatická zatížení .....   | 30 |
| 3.3.1 Zatížení větrem .....   | 30 |
| 3.3.2 Ruční výpočet zatížení větrem.....  | 30 |
| Pro srovnání výsledků vygenerovaných programem bylo zatížení větrem dodatečně započítáno ručně dle normy ČSN EN 1991-1-4 <sup>[4]</sup> ..... | 30 |
| 3.3.3 ZS8 – zatížení sněhem .....   | 37 |
| 3.4 Užiténá zatížení .....  | 39 |
| 3.4.1 ZS4 – šachovité rozdělení užiténého zatížení 1, směr y .....  | 40 |
| 3.4.2 ZS5 – šachovité rozdělení užiténého zatížení 2, směry .....   | 40 |
| 3.5 Kombinace zatížení.....   | 41 |
| 3.5.1 Mezní stav únosnosti (STR/GEO) .....  | 41 |
| 3.5.2 Mezní stav použitelnosti.....   | 41 |
| 3.5.3 Kvazistálá kombinace .....  | 41 |
| 4. Statický výpočet.....  | 42 |
| 4.1 Základní charakteristiky materiálu .....  | 42 |
| 4.1.1 Zdicí prvky – cihly .....   | 42 |
| 4.1.2 Beton .....   | 42 |

|  |    |
|--|----|
| 4.1.3 Výztuž .....   | 43 |
| 4.2 Krytí výztuže .....  | 43 |
| 4.3 Stropní desky .....  | 43 |
| 4.3.1 Návrhové vnitřní síly desek .....                                      | 44 |
| 4.3.2 Posouzení výztuže pro kladné ohybové momenty – směr x .....            | 49 |
| 4.3.3 Posouzení výztuže pro záporné ohybové momenty – směr x .....           | 50 |
| 4.3.4 Únosnost desky ve smyku – směr x .....                                 | 51 |
| 4.3.5 Konstrukční zásady – směr x .....                                      | 51 |
| 4.3.6 Posouzení výztuže pro kladné ohybové momenty – směry .....             | 52 |
| 4.3.7 Posouzení výztuže pro záporné ohybové momenty – směr y .....           | 53 |
| 4.3.8 Únosnost desky ve smyku – směr y .....                                 | 55 |
| 4.3.9 Konstrukční zásady – směr y .....                                      | 55 |
| 4.3.10 Omezení průhybu .....   | 56 |
| 4.4 Střešní deska .....  | 58 |
| 4.4.2 Posouzení výztuže pro záporné ohybové momenty – směr x .....           | 60 |
| 4.4.3 Únosnost desky ve smyku – směr x .....                                 | 61 |
| 4.4.4 Konstrukční zásady – směr x .....                                      | 61 |
| 4.4.5 Posouzení výztuže pro kladné ohybové momenty – směr y .....            | 62 |
| 4.4.6 Posouzení výztuže pro záporné ohybové momenty – směr y .....           | 63 |
| 4.4.7 Únosnost desky ve smyku – směr y .....                                 | 65 |
| 4.4.8 Konstrukční zásady – směr y .....                                      | 65 |
| 4.4.9 Omezení průhybu .....  | 66 |
| 4.5 Balkón .....   | 67 |
| 4.5.1 Opatření pro snížení průhybu .....                                     | 71 |
| 4.6 Návrh a posouzení průvlaků .....   | 72 |
| 4.6.1 Nastavení vstupních dat .....  | 72 |
| 4.6.2 Návrh výztuže průvlaku P2 pomocí SCIA Engineer 20.0 .....              | 74 |
| 4.6.3 Posouzení navržené výztuže průvlaku P2 pomocí SCIA Engineer 20.0 ..... | 76 |
| 4.6.4 Ověření výsledků ručním výpočtem průvlaku P2 .....                     | 83 |
| 4.6.5 Posouzení výztuže ručním výpočtem .....                                | 85 |
| Konstrukční zásady .....   | 86 |
| Posouzení smykové výztuže .....  | 88 |
| 4.6.6 Omezení průhybu .....  | 89 |
| 4.6.7 Návrh výztuže průvlaku P1 pomocí SCIA Engineer 20.0 .....              | 90 |
| 4.6.8 Posouzení navržené výztuže průvlaku P1 pomocí SCIA Engineer 20.0 ..... | 91 |
| 4.6.9 Omezení průhybu .....  | 97 |
| 4.7 Zděná stěna .....  | 98 |

---

|  |     |
|--|-----|
| 4.7.2 Ruční ověření normálové síly ..... | 99  |
| 4.7.3 Posouzení únosnosti zdiva .....    | 101 |
| 4.8 Základ .....                         | 104 |
| 4.8.1 Původní základ.....                | 104 |
| 4.8.2 Nový návrh .....                   | 105 |
| 4.8.3 Posouzení základové půdy .....     | 106 |
| 5. Závěr .....                           | 111 |
| 5.1 Desky .....                          | 111 |
| 5.2 Balkóny .....                        | 111 |
| 5.3 Svislé nosné konstrukce .....        | 111 |
| 5.4 Základy.....                         | 111 |
| 6. Přílohy.....                          | 112 |
| 7. Zdroje.....                           | 113 |
| 8. Seznam obrázků .....                  | 114 |

**Seznam použitého značení**

Latinská abeceda

|              |  |
|--------------|--|
| $A_c$        | průřezová plocha betonu                                  |
| $A_s$        | průřezová plocha betonářské výztuže                      |
| $A_{s,min}$  | minimální průřezová plocha betonářské výztuže            |
| $A_{s,w}$    | průřezová plocha betonářské výztuže                      |
| $C_e$        | součinitel expozice                                      |
| $C_r$        | součinitel drsnosti terénu                               |
| $C_0$        | součinitel orografie                                     |
| $C_t$        | tepelný součinitel                                       |
| $C_{dir}$    | součinitel směru větru                                   |
| $C_{season}$ | součinitel ročního období                                |
| $c_{pi}$     | součinitel vnitřních tlaků při zatížení větrem           |
| $c_{pe}$     | součinitel vnějších tlaků při zatížení větrem            |
| $c_{nom}$    | krytí výztuže  |
| $E_{cd}$     | návrhová hodnota modulu pružnosti betonu                 |
| $E_s$        | návrhová hodnota modulu pružnosti betonářské oceli       |
| $F_d$        | návrhová hodnota zatížení                                |
| $F_k$        | charakteristická hodnota zatížení                        |
| $G_d, g_d$   | návrhová hodnota stálého zatížení                        |
| $G_d, g_d$   | charakteristická hodnota stálého zatížení                |
| $I$          | moment setrvačnosti                                      |
| $L$          | délka  |
| $M$          | ohybový moment   |
| $M_{Ed}$     | návrhová hodnota působícího vnitřního ohybového momentu  |
| $mD$         | dimenzační moment na desce                               |
| $N$          | normálová síla   |
| $N_{Ed}$     | návrhová hodnota působící normálové síly (tah nebo tlak) |
| $Q_k, q_k$   | charakteristická hodnota proměnného zatížení             |
| $Q_d, q_d$   | návrhová hodnota proměnného zatížení                     |
| $V$          | posouvající síla   |
| $V_{Ed}$     | návrhová hodnota posouvající síly                        |
| $V_{Ed}$     | celková šířka průřezu                                    |

---

|            |   |
|------------|---|
| $v_{Ed}$   | posouvající síly na desce                           |
| $b_w$      | šířka stojiny průřezu T                             |
| $d$        | účinná výška průřezu                                |
| $d_g$      | největší jmenovitý rozměr zrna kameniva             |
| $e$        | výstřednost, excentricita                           |
| $f_c$      | pevnost betonu v tlaku                              |
| $f_{cd}$   | návrhová pevnost betonu v tlaku                     |
| $f_{ck}$   | charakteristická válcová pevnost betonu v tlaku     |
| $f_{ctk}$  | charakteristická pevnost betonu v dostředném tahu   |
| $f_y$      | mez kluzu betonářské výztuže                        |
| $f_{yd}$   | návrhová mez kluzu betonářské výztuže               |
| $s_k$      | charakteristická hodnota zatížení sněhem na zemi    |
| $s$        | světlá vzdálenost výztuže                           |
| $h$        | výška   |
| $h$        | celková výška průřezu                               |
| $k_r$      | součinitel terénu                                   |
| $k_l$      | součinitel turbulence                               |
| $l$        | (nebo L) délka, rozpětí                             |
| $l_v$      | intenzita turbulence                                |
| $l_{bd}$   | kotevní délka                                       |
| $t$        | tloušťka  |
| $v_{b,0}$  | výchozí základní rychlost větru                     |
| $v_b$      | základní rychlost větru                             |
| $v_m$      | charakteristická střední rychlost větru             |
| $w$        | tlak větru na konstrukci                            |
| $q_p$      | charakteristický maximální dynamický tlak           |
| $x$        | vzdálenost neutrální osy od nejvíce tlačného okraje |
| $z_0$      | parametr drsnosti terénu                            |
| $z_{0,II}$ | parametr drsnosti terénu II                         |
| $z$        | referenční výška                                    |

## Řecká abeceda

|                    |   |
|--------------------|---|
| $\alpha$           | úhel, poměr   |
| $\beta$            | úhel, poměr, součinitel   |
| $\gamma$           | dílčí součinitel  |
| $\gamma_c$         | dílčí součinitel betonu   |
| $\gamma_F$         | dílčí součinitel zatížení   |
| $\gamma_G$         | dílčí součinitel stálého zatížení G   |
| $\gamma_M$         | vlastnoti materiálu, zahrnující nejistoty vlastnosti materiálu, geometrických odchylek a výpočetního modelu |
| $\gamma_Q$         | dílčí součinitel proměnného zatížení Q  |
| $\gamma_s$         | dílčí součinitel betonářské oceli   |
| $\delta$           | redeukční součinitel, rozdělovací součinitel  |
| $\varepsilon_c$    | poměrné stlačení betonu   |
| $\varepsilon_{cl}$ | poměrné stlačení betonu při dosažení maximálního napětí $f_c$   |
| $\varepsilon_{cu}$ | mezní poměrné stlačení betonu   |
| $\varepsilon_u$    | poměrné přetvoření betonářské oceli při maximálním zatížení   |
| $\theta$           | úhel  |
| $\lambda$          | štíhlostní poměr  |
| $\mu$              | tvarový součinitel  |
| $\rho$             | hustota   |
| $\rho$             | stupeň vyztužení podélnou výztuží   |
| $\rho$             | stupeň vyztužení smykovou výztuží   |



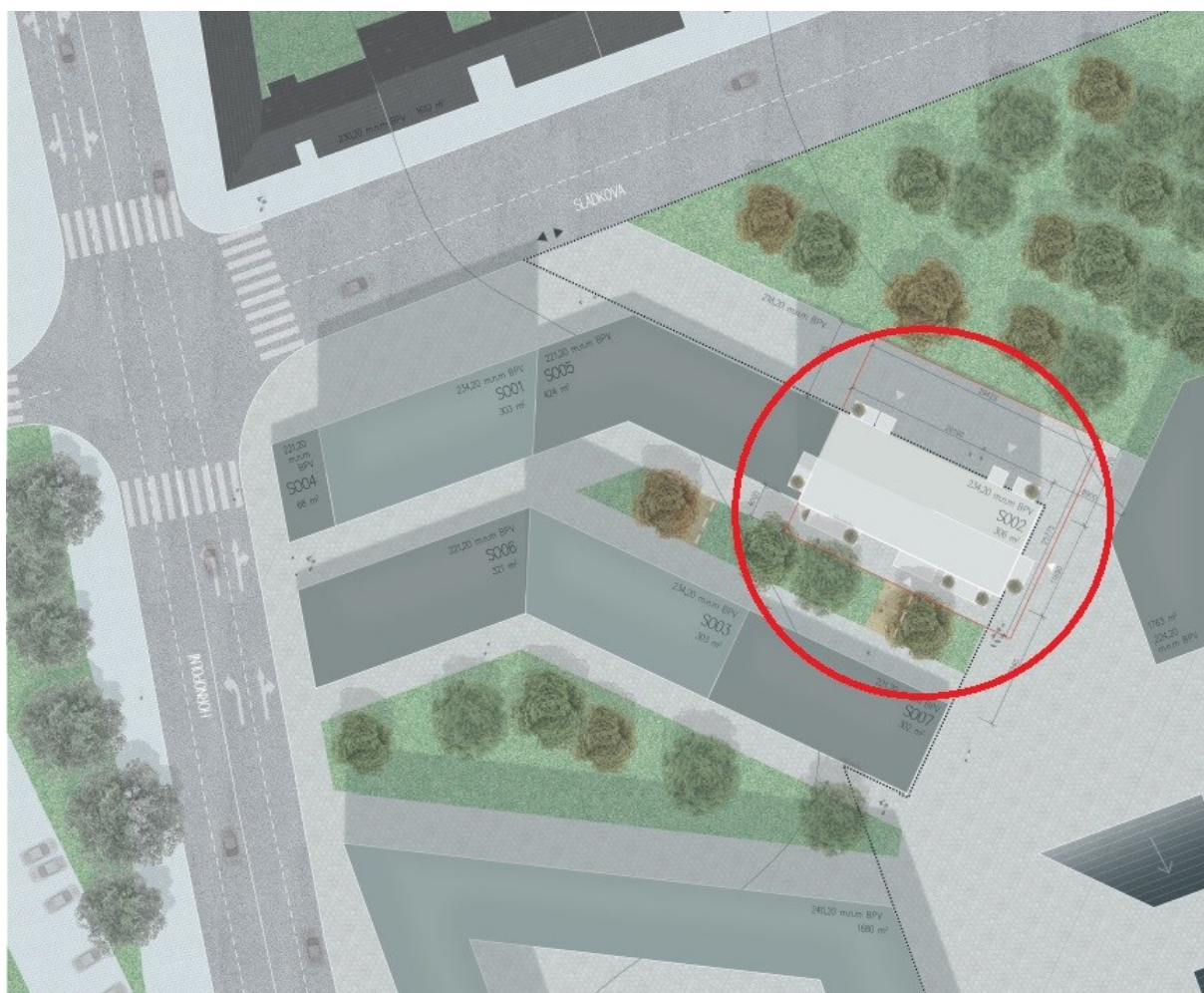
## 1. Úvod

### 1.1 Studie objektu

Studie řešeného objektu byla vypracována na katedře architektury fakulty stavební VŠB-TU Ostrava studentkou Veronikou Prokopovou<sup>[7]</sup> podle dokumentace v rámci bakalářské práce.

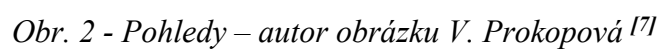
### 1.2 Popis objektu

Objekt je novostavbou při revitalizaci plochy mezi ulicemi Sládkova a Hornopolní v městské části Moravská Ostrava.



*Obr. 1 - Situace – autor obrázku V. Prokopová<sup>[7]</sup>*

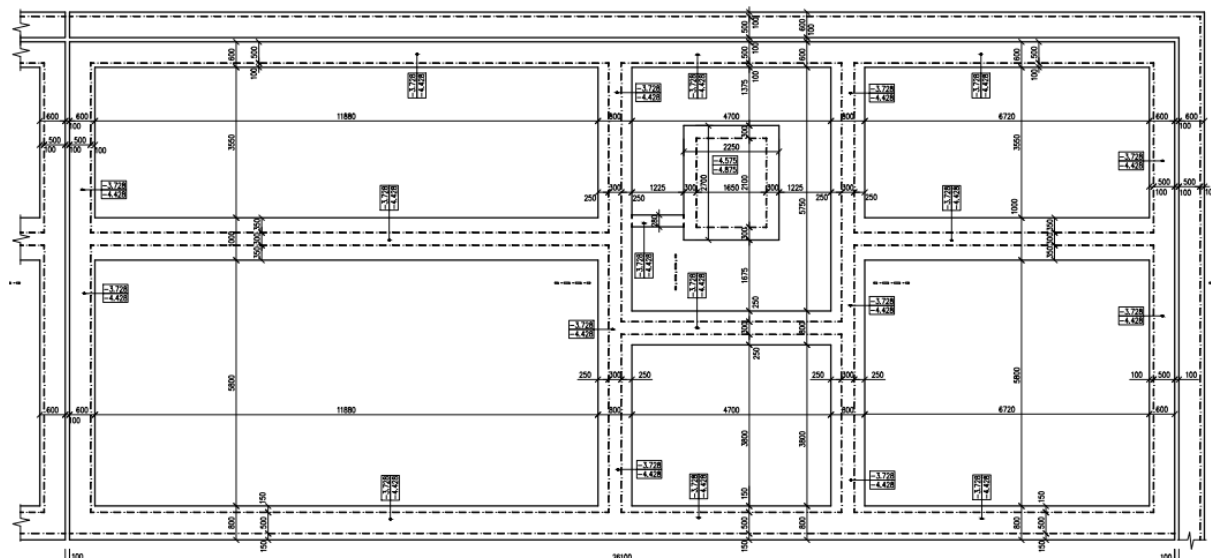
Bytový dům obdélníkového půdorysu 26,1 x 11,6 m má jedno podzemní a pět nadzemních podlaží. V podzemním podlaží se nacházejí sklepní kóje, v nadzemním podlaží se nachází kavárna, toalety a prodejní prostor. V patrech se nacházejí byty.



## 1.3 Konstrukční řešení stavby

### 1.3.1 Založení objektu

Objekt je založen na základových pásech z betonu C 25/30 o tloušťce 800 mm pod každou svislou nosnou konstrukcí. Základová spára je v hloubce 3,85 m pod úrovní upraveného terénu.



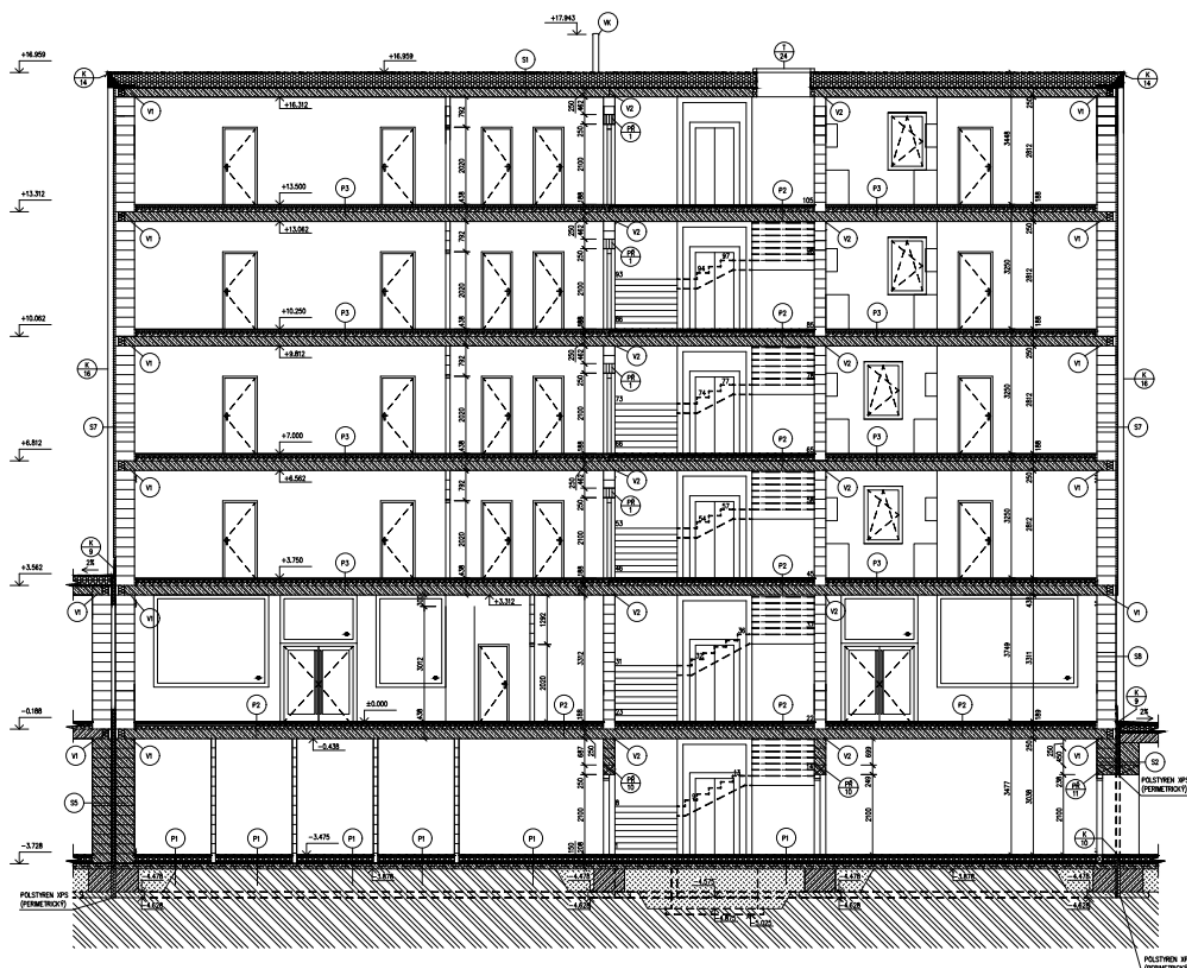
Obr. 4 - Půdorys základu – autor obrázku V. Prokopová [7]

### 1.3.2 Svislé nosné konstrukce

Svislé nosné konstrukce jsou zděné, stěna po obvodu je tlustá 500 mm, materiálem je Porotherm 50 T Profi Dryfix. Vnitřní nosné stěny tloušťky 300 mm jsou z materiálu zdivo Porotherm 30 Profi Dryfix, vše zděno na lepidlo Porotherm Dryfix.extra pouze suterénní zed' navržena jako betonová .

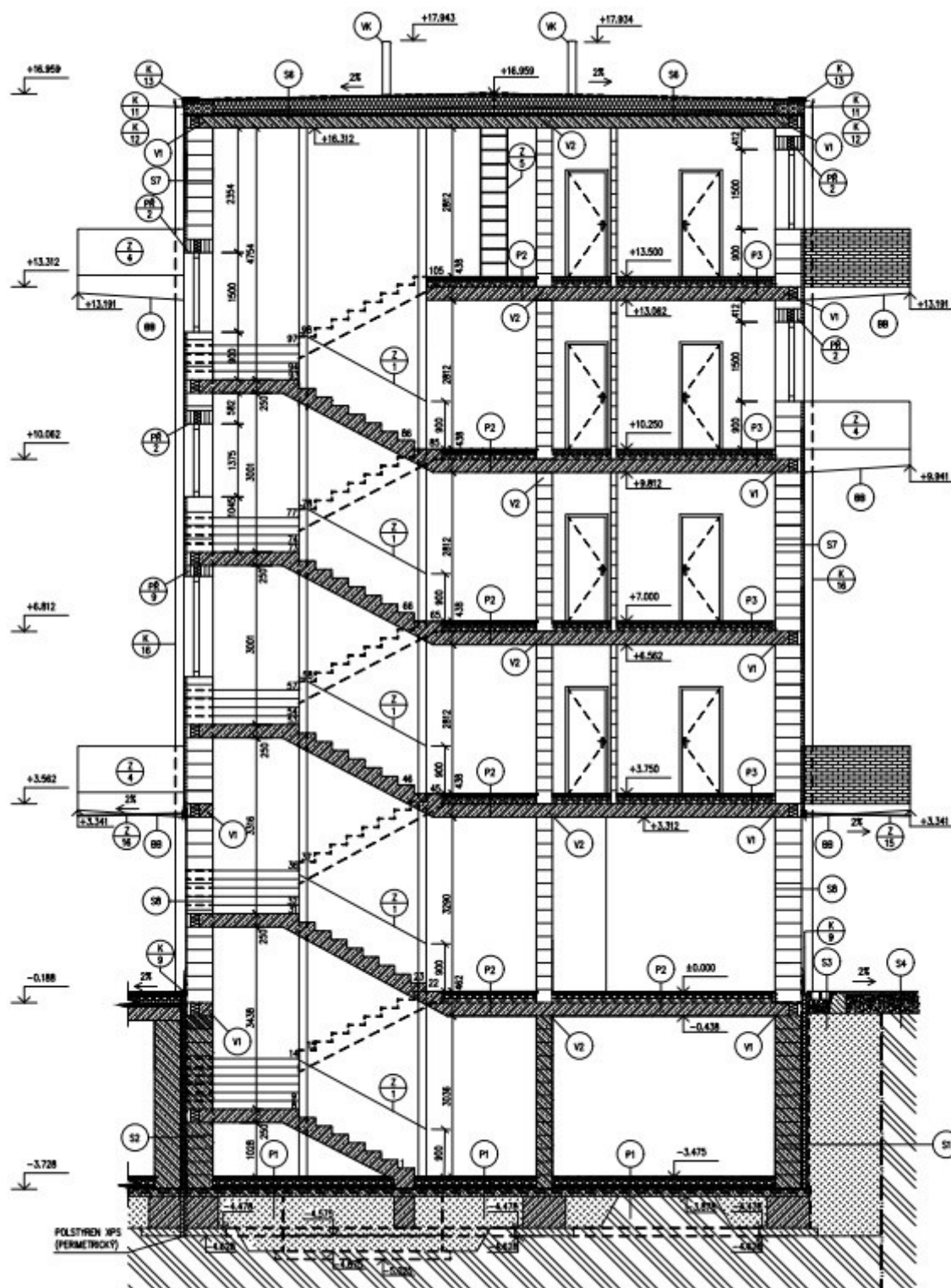
Architekt<sup>[7]</sup> také navrhl vybourání vnitřní nosné stěny, aby byl zajištěn provoz kavárny a prodejny. Proto byl navržen rám, který přebírá nosnou funkci a stěny nad vzniklými otvory se staly pouze výplněmi.

Bližší popis konstrukčního provedení znázorňuje obr. 20 – Rám nad odstraněným nosným zdivem.



Obr. 5 - Podélný řez budovy – autor obrázku V. Prokopová <sup>[7]</sup>

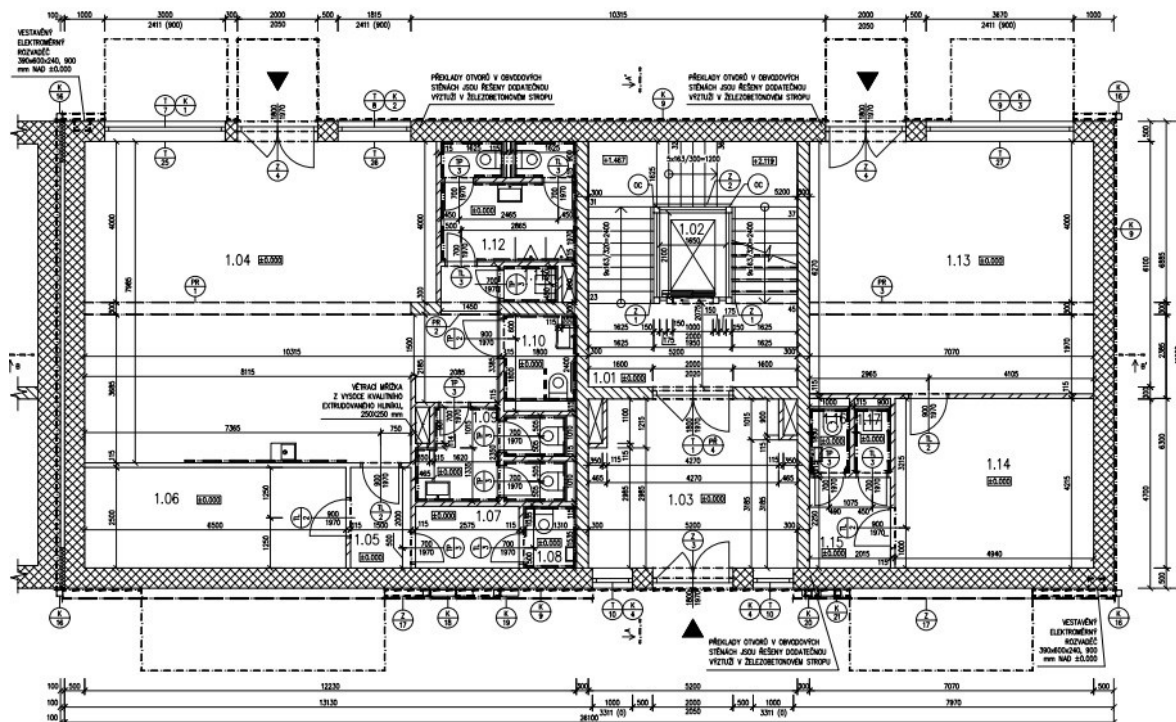




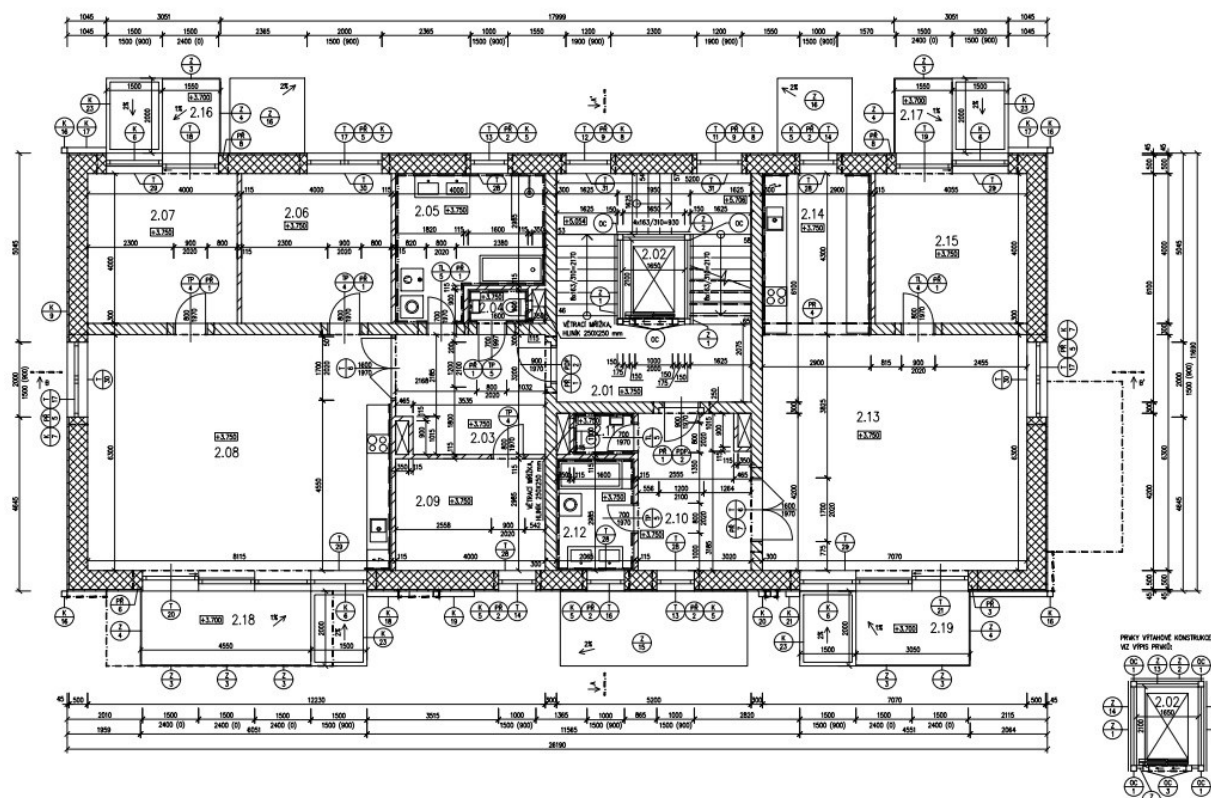
Obr. 6 - Příčný řez budovy – autor obrázku V. Prokopová <sup>[7]</sup>

### 1.3.3 Vodorovné nosné konstrukce

Tvoří železobetonové monolitické desky z betonu C 25/30 tloušťky 200 mm křížem vyztužené. Střešní konstrukce je taktéž deska jako v ostatních podlažích, vybavená pouze izolací a střešní krytinou ve sklonu 2°.



Obr. 7 - Půdorys 1. nadzemního podlaží – autor obrázku V. Prokopová <sup>[7]</sup>



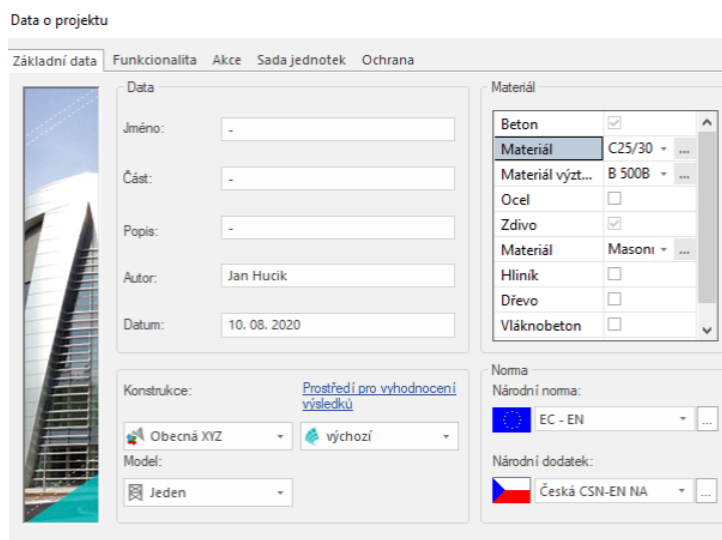
Obr. 8 - Půdorys 2. nadzemního podlaží – autor obrázku V. Prokopová<sup>17)</sup>

## 2. Tvorba numerického modelu

### 2.1 Tvorba modelu obecně

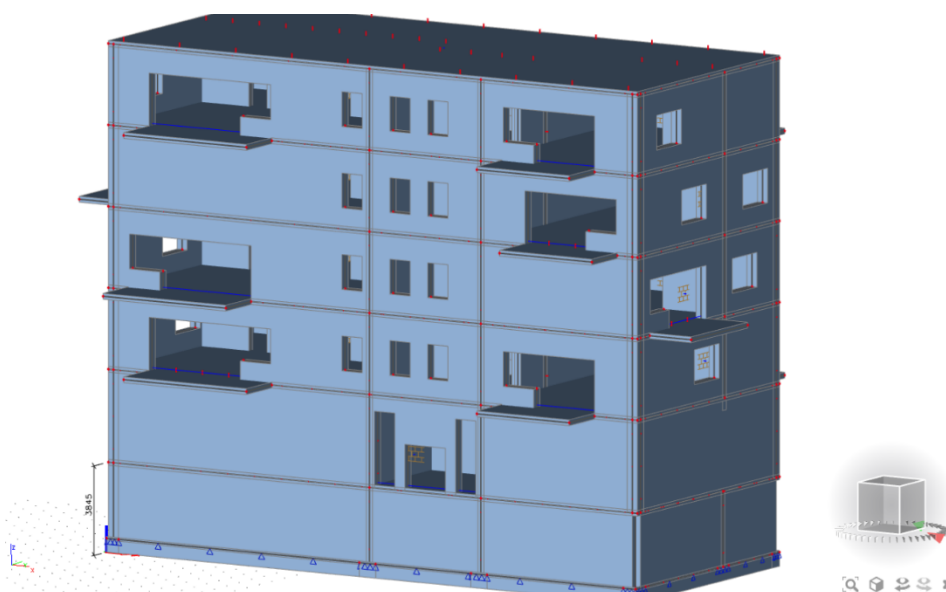
Model byl vytvořen v programu SCIA Engineer 20.0 jako obecný XYZ deskostěnový se zděnými a železobetonovými stěnami, železobetonovými deskami.

Pro návrh vyztužení je použita ocel B500B s bilineárním pracovním diagramem.



Obr. 9 - Základní nastavení

Model byl vytvořen ve 3D se všemi rozměry i otvory totožnými s původním návrhem architekta<sup>[7]</sup>. Postupně však byl model měněn, aby nosná konstrukce vyhovovala mezním stavům návrhu.

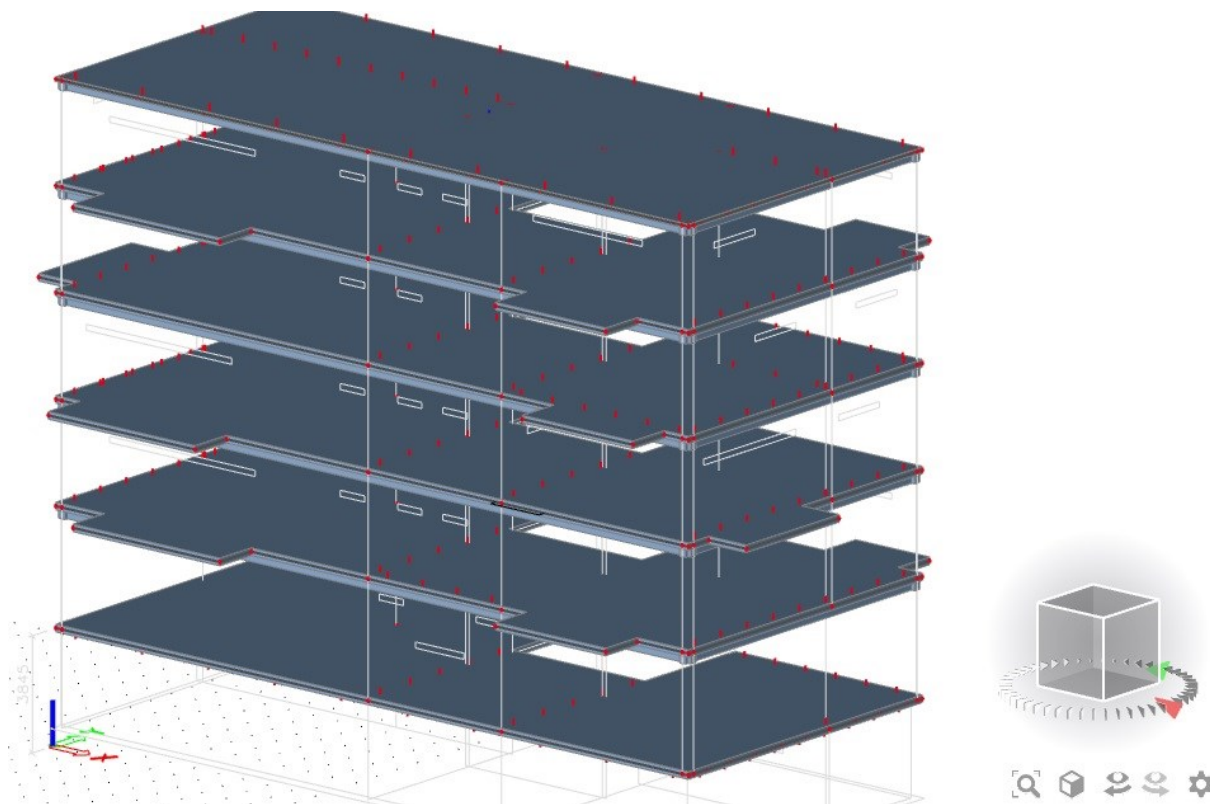


Obr. 10 - Celkový vzhled



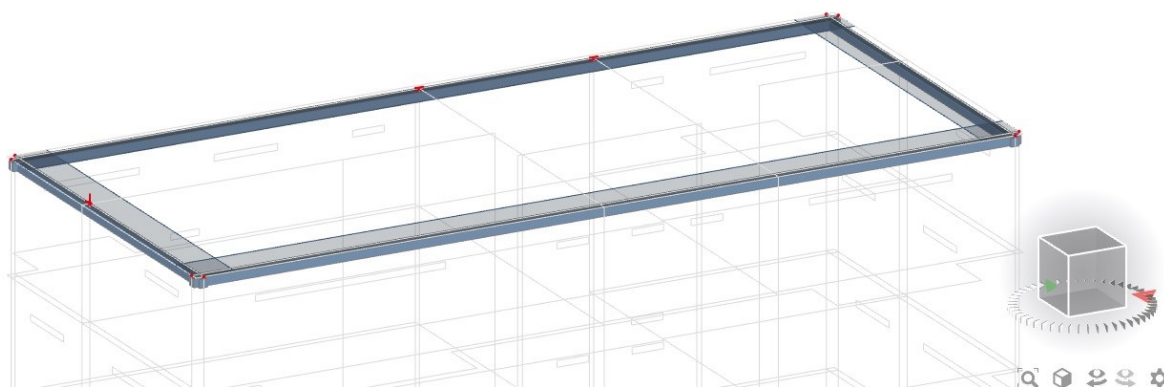
## 2.2 Vodorovné nosné konstrukce (desky)

Vodorovné nosné konstrukce (desky) jsou modelované jako monolitické desky, monolit desky zaujímá celou podlahu patra včetně balkónů.



*Obr. 11 - Vodorovné nosné konstrukce*

Po obvodu na styku s vnější nosnou stěnou jsou modelovány ztužující věnce, které byly v programu provedeny jako žebra stropních desek o rozměrech 200 x 400 mm.

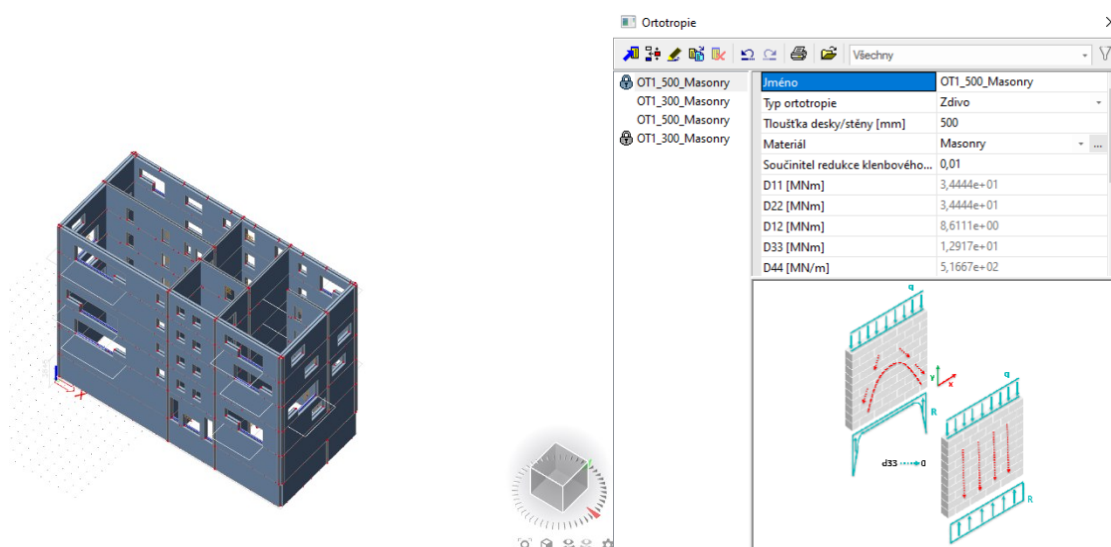


*Obr. 12 - Ztužující věnec*

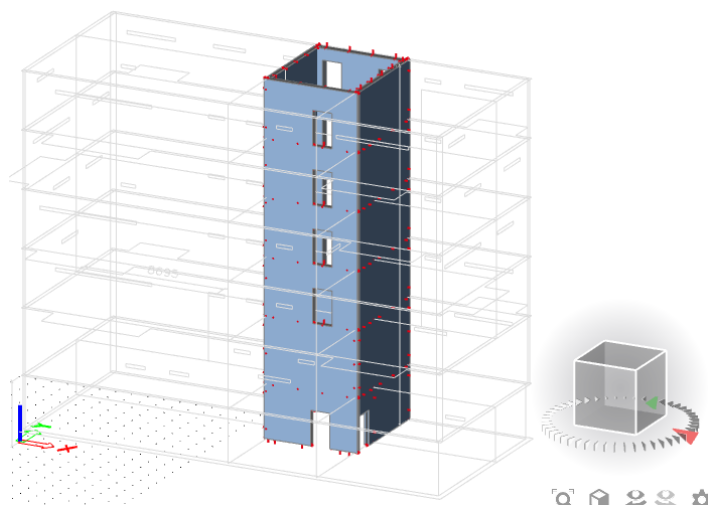
## 2.3 Svislé nosné konstrukce

Obvodové zdivo má tloušťku 500 mm, vnitřní zdivo 300 mm.

Kolem schodišťového prostoru a výtahové šachty bylo zdivo nahrazeno železobetonovým jádrem pro zvýšení celkové tuhosti konstrukce ve vodorovném směru. Zdivo se ve SCIA modeluje jako ortotropní a lze zvolit hodnotu redukce součinitele klenbového roznosu, který je předběžně nastaven na 0,01. Tato hodnota by měla být podle vývojářů programu SCIA univerzální.



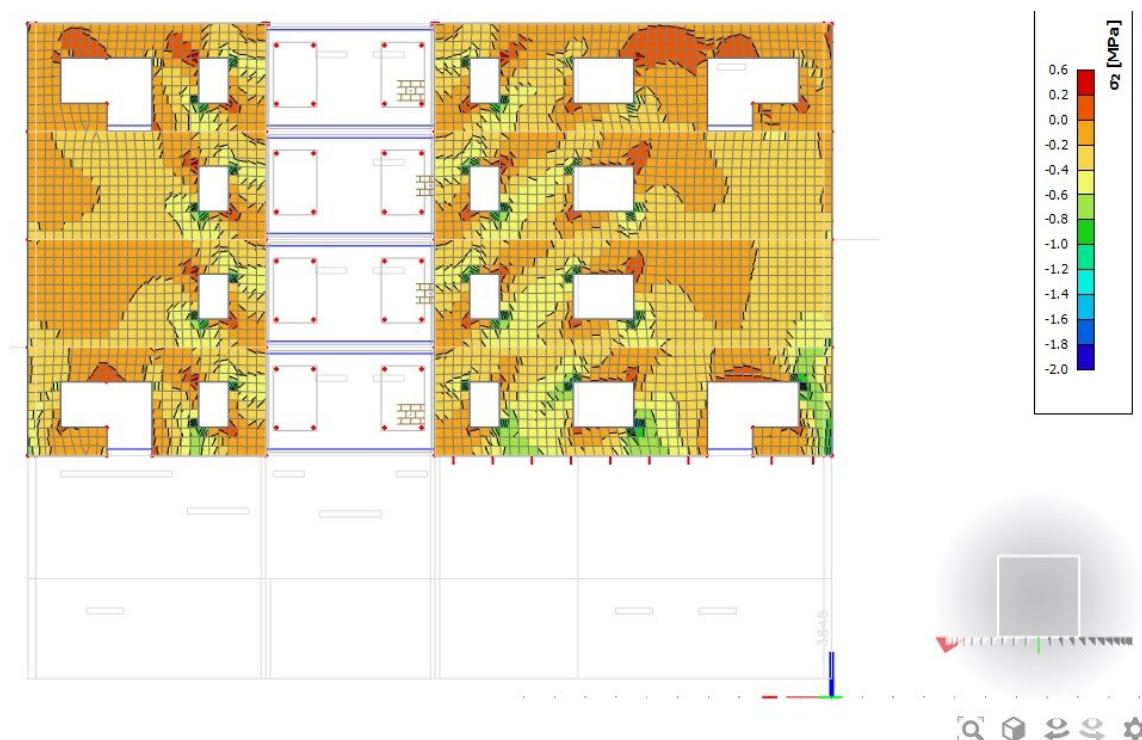
Obr. 13 - Svislé nosné konstrukce a nastavení zdiva



Obr. 14 - Ztužující jádro

**2.3.1 Vliv ortotropie zdiva (součinitele klenbového roznosu) na výsledné vnitřní síly**

Na následujících dvou obrázcích jsou vyobrazena 3D napětí stěn ve čtyřech patrech s rozdílnými součiniteli redukce klenbového roznosu 1, tedy žádná redukce, a 0,01.

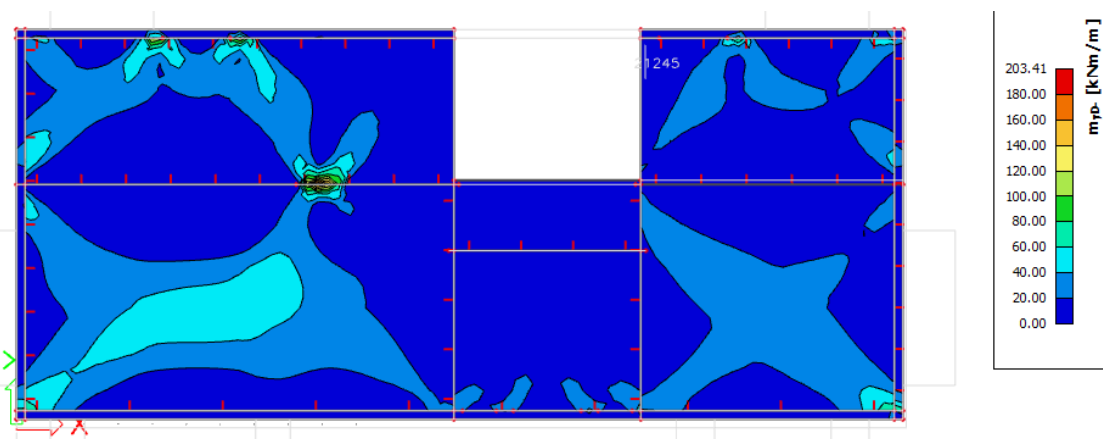


*Obr. 15 - Zdivo se součinitelem redukce klenbového roznosu 1*

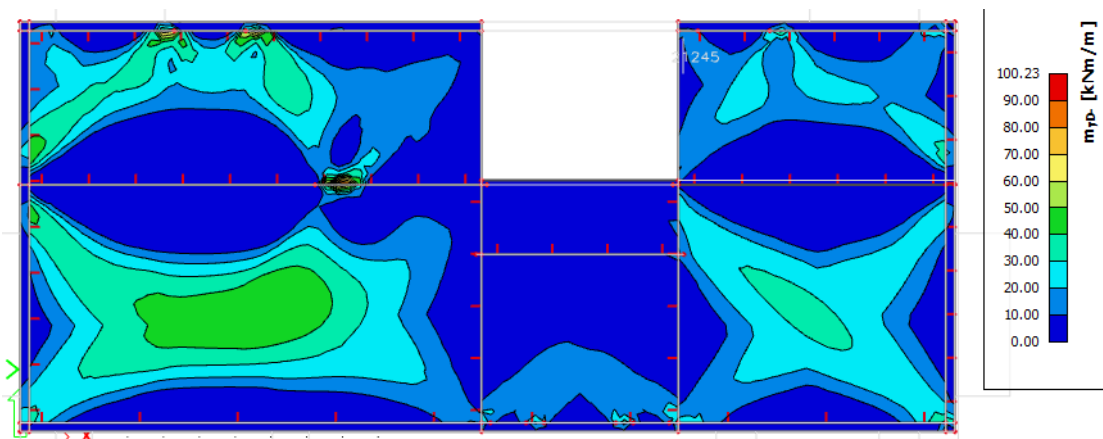


*Obr. 16 - Zdivo se součinitelem redukce klenbového roznosu 0,01*

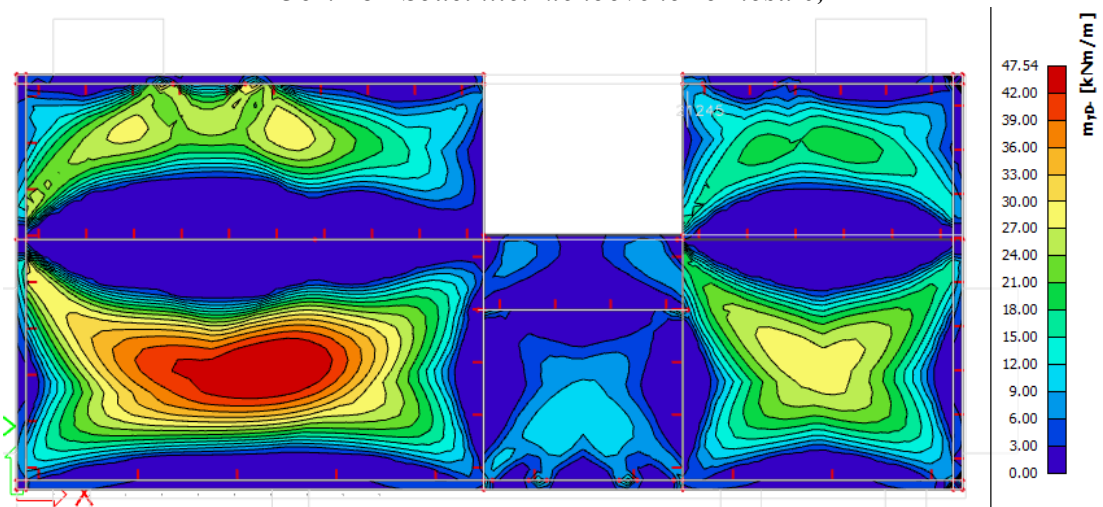
Grafické znázornění z předchozích obrázků ukazuje, že čím víc se součinitel redukce klenbového roznosu přibližuje nule, tím více se napětí koncentruje mezi otvory a tyto koncentrace jsou příčinou vzniku nereálných extrémů momentů na deskách, příklad je uveden v následujících obrázcích momentů u spodního líce desky ve směru y (obr. 17 – 19).



Obr. 17 - Součinitel klenbového roznosu 0,01



Obr. 18 - Součinitel klenbového roznosu 0,1



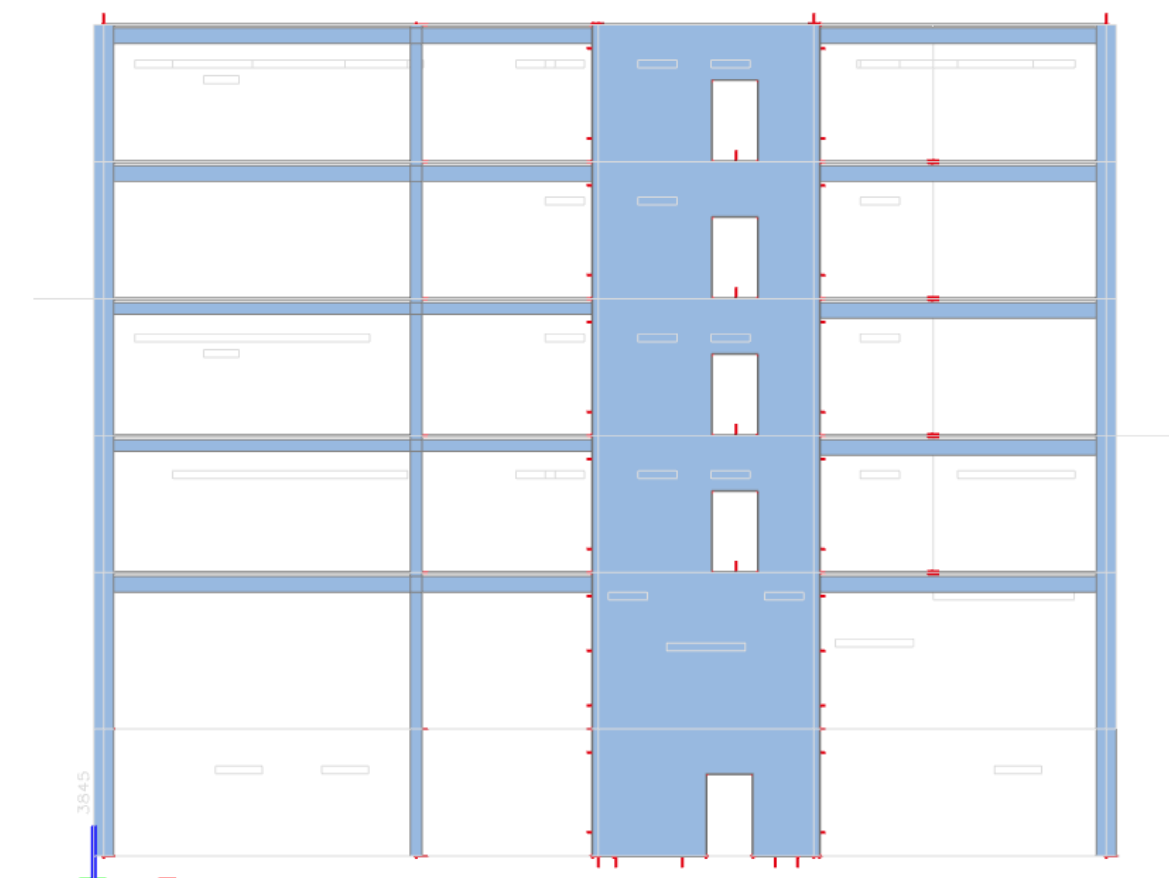
Obr. 19 - Součinitel klenbového roznosu 1

Z obr. 17 – 19 je patrné, že čím víc se součinitel klenbového roznosu blíží nule, tím jsou špičky napětí blíže stěnám nebo přímo ve stěnách, což je v rozporu s pravidly stavební mechaniky (liniové tuhé podepření desky) a všeobecně nereálné.

Z tohoto důvodu budou k návrhu desek použity vnitřní síly na modelu, kde bude změněn součinitel redukce klenbového efektu na 1.

### 2.3.2 Betonový rám

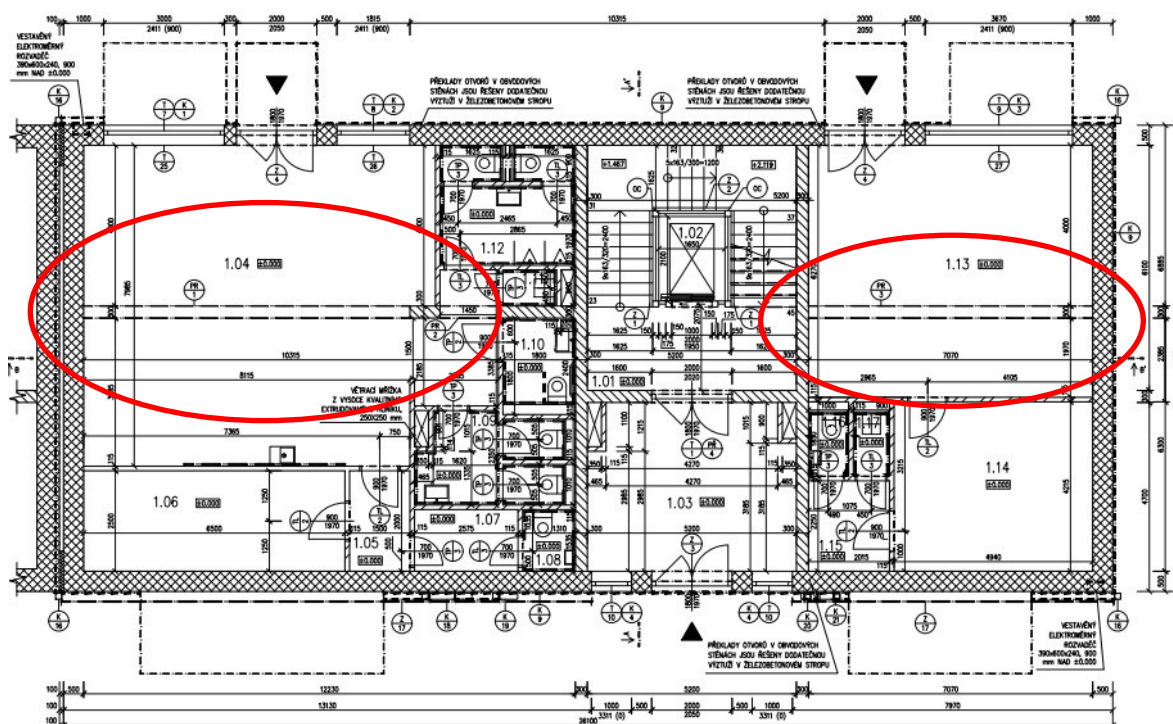
V budově byl navržen betonový rám tvořen na jedné straně dvěma sloupy a průvlaky, na druhé straně sloupem a průvlaky do železobetonového jádra.



*Obr. 20 - Rám nad odstraněným nosným zdivem*

Toto řešení bylo nutné kvůli návrhu architekta<sup>[7]</sup>, jenž v prvním nadzemním podlaží odstranil část nosných zdí (obr. 20) pro uvolnění prostoru kavárny a prodejního prostoru, a tento rám pomáhá rovnoměrně přenést zatížení z vyšších podlaží.





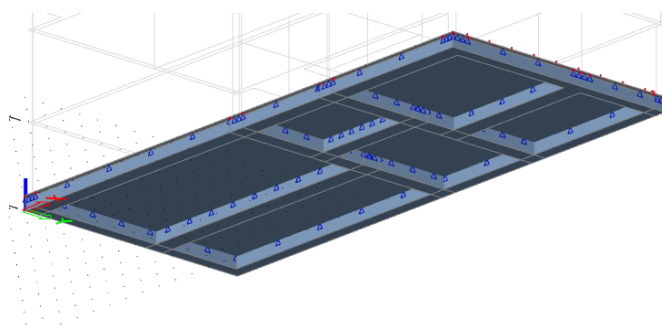
Obr. 21 - Ukázka odstraněných nosných zdí

## 2.4 Základy

Základy byly vytvořeny dle původního návrhu jako pásové, pod každou svislou nosnou konstrukcí je pás šířky 800 mm a výšky 600 mm.

Jako podpora modelu pod základy bylo zvoleno pružné podloží Winklerovo pro jednoduché zjištění napětí v základové spáře a vnitřních sil v základové konstrukci.

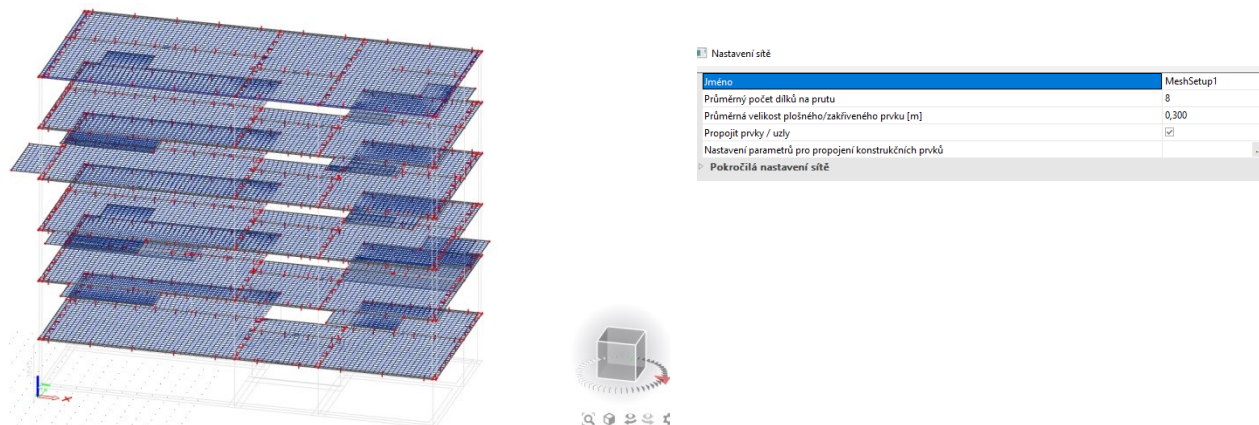
Pro určení charakteru podloží podle Winklera je nutné určit koeficient stlačitelnosti  $C$ . Ten byl zjištěn z dizertační práce L. Fojtové [8], z které vyplývá, že na většině Ostravské pánve se nacházejí jemnozrnné zeminy (hlinité jíly). Dále podle přednášek Ondřeje Jirouška [8] z Ústavu mechaniky a materiálu dopravní fakulty ČVUT vyplývá koeficient stlačitelnosti pro hlinité jíly od 20 do 100. Pro účel tohoto modelu bylo zvoleno  $C = 25$ .



Obr. 22 - Základy

## 2.5 Síť

Na modelu byla vygenerována síť 300 mm (tloušťka nejtenčího prvku je 250 mm), aby byla dostatečně jemná pro přesné výsledky, ale aby zároveň výpočet netrval příliš dlouho.



Obr. 23 - Generovaná síť a její nastavení



### 3. Zatížení na modelu

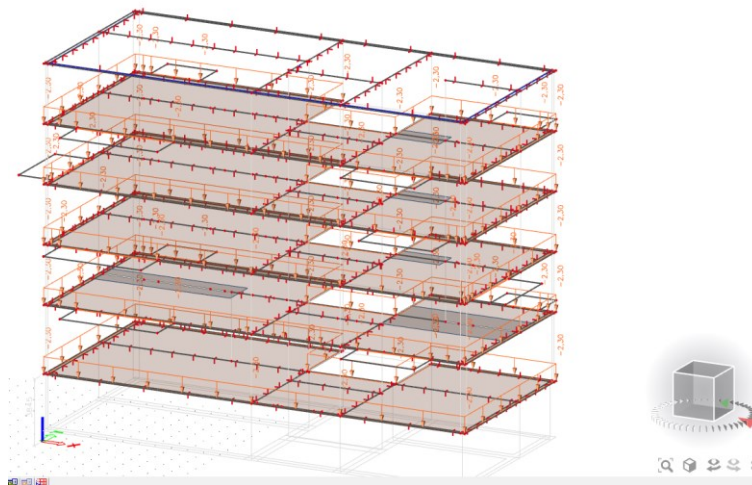
#### 3.1 ZS1 - vlastní tíha konstrukce

Vlastní tíha konstrukce je vypočítána automaticky v programu SCIA Engineer 20.0 na základě zadaných vlastností materiálů a tloušťek.

#### 3.2 ZS2 – ostatní stálá zatížení

Jako ostatní stálá zatížení (skladba podlahy) je brána nejtěžší, která se nachází na 70 % ploch.

|                            | Tloušťka | kN/m <sup>3</sup> | kN/m <sup>2</sup> |
|----------------------------|----------|-------------------|-------------------|
| keramická dlažba           | 10 mm    | 22                | 0,22              |
| lepicí tmel                | 6 mm     | 20                | 0,12              |
| hydroizolace, báze cementu | 2 mm     | 20                | 0,04              |
| roznášecí vrstva           | 50 mm    | 25                | 1,25              |
| tepelná izolace            | 40 mm    | 0,4               | 0,016             |
| $\Sigma_{gk}$              |          |                   | 2,3               |

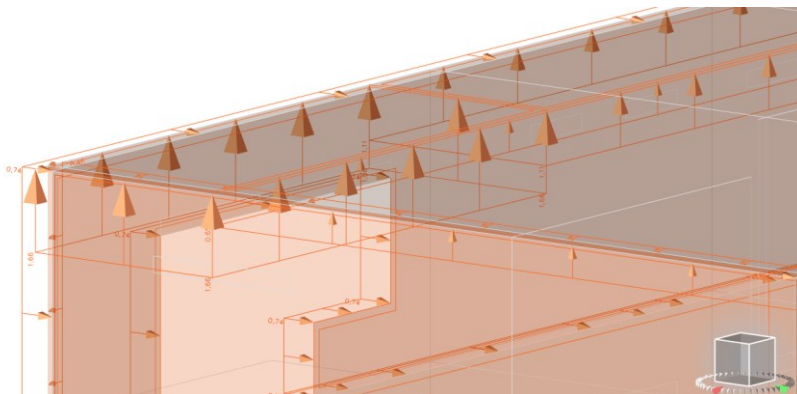


Obr. 24 - Ostatní stálá zatížení

### 3.3 Klimatická zatížení

#### 3.3.1 Zatížení větrem

Zatížení větrem bylo vygenerováno generátorem větru 3D ve třech směrech  $x^+$ ,  $y^-$ ,  $y^+$  (obr. 25) a pro srovnání výsledků vypočítáno ručně.



Obr. 25 - Vygenerované 3D zatížení větrem

#### 3.3.2 Ruční výpočet zatížení větrem

Pro srovnání výsledků vygenerovaných programem bylo zatížení větrem dodatečně započítáno ručně dle normy ČSN EN 1991-1-4<sup>[4]</sup>.

##### Základní rychlost větru

$$v_b = c_{dr} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0}$$

$$c_{dr} = 1$$

$$c_{season} = 1$$

$$v_{b,0} = 25 \text{ m/s} \rightarrow \text{z větrné mapy ČR oblast II}$$

$$v_b = 1 \cdot 1 \cdot 25 = 25$$

##### Střední rychlost větru

###### Kategorie terénu III

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_o(z) \cdot v_b$$

$$z = 18 \text{ m}$$

$$z_0 = 0,3 \text{ m}$$

$$z_{min} = 5 \text{ m}$$

$$z_{max} = 200 \text{ m}$$

$$k_r = 0,2154$$

$$z_{0,II} = 0,05 \text{ m}$$

$$c_r(z) = 0,882$$

$$c_0(z) = 1$$

$$v_m(z) = 0,882 \cdot 1 \cdot 25 = 22,047 \text{ m/s}$$

**Maximální dynamický tlak**

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z)$$

$$k_I = 1$$

$$I_v(z) = 0,244$$

$$\rho = 1,2 \text{ g/m}^3$$

$$q_p(z) = 0,823 \text{ kN/m}^2$$

**Zatížení větrem na svislé stěny ze směru x**

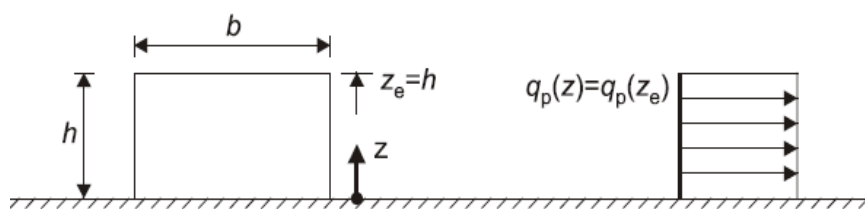
$$h = 18 \text{ m}$$

$$b = 26,1 \text{ m}$$

$$d = 11,45 \text{ m}$$

$$h/d = 1,57$$

$$e = 26,1 \text{ m}$$

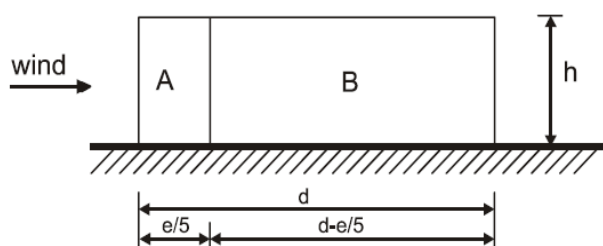
$h \leq b$ 

Obr. 26 - Síla větru po výšce ve směru x

| oblast      | A           | B           | C           | D           | E           |
|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| h/d         | $C_{pe,10}$ | $C_{pe,10}$ | $C_{pe,10}$ | $C_{pe,10}$ | $C_{pe,10}$ |
| 5           | -1,2        | -0,8        | -0,5        | 0,8         | -0,7        |
| 1           | -1,2        | -0,8        | -0,5        | 0,8         | -0,5        |
| $\leq 0.25$ | -1,2        | -0,8        | -0,5        | 0,7         | -0,3        |

| oblast | A           | B           | C           | D           | E           |
|--------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| h/d    | $C_{pe,10}$ | $C_{pe,10}$ | $C_{pe,10}$ | $C_{pe,10}$ | $C_{pe,10}$ |
| 2,00   | -1,20       | -0,80       | -0,50       | 0,80        | -0,55       |

|                                  |       |       |                    |      |       |
|----------------------------------|-------|-------|--------------------|------|-------|
| $q_p \text{ [kN.m}^{-2}\text{]}$ |       |       |                    |      |       |
| =                                | -0,99 | -0,66 | -0,41              | 0,66 | -0,45 |
| $q_p \text{ [kN.m}^{-1}\text{]}$ |       |       |                    |      |       |
| =                                | -0,99 | -0,66 | -0,41              | 0,66 | -0,45 |
| $b_{ref} =$                      | 1     | m     | (zatěžovací šířka) |      |       |

 $e \geq d$ 

Obr. 27 - Rozložení zatížení na stěně

| Rozměry | L [m] |
|---------|-------|
| A =     | 5,22  |
| B =     | 6,23  |

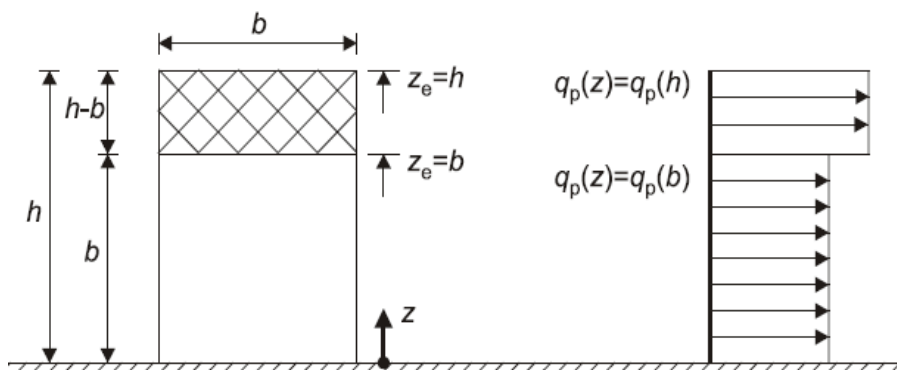
**Zatížení větrem ze směru y**

$$h = 18 \text{ m}$$

$$b = 1,45 \text{ m}$$

$$d = 26,1 \text{ m}$$

$$\underline{b < h \leq 2b}$$



Obr. 28 - Síla větru po výšce ve směru y

$$\underline{h/d = 0,69}$$

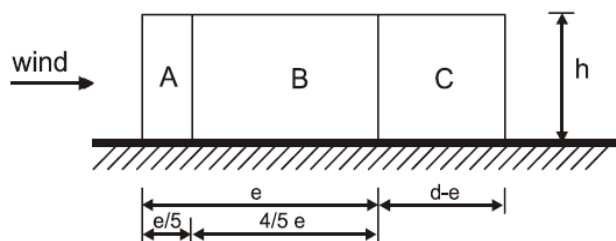
$$\underline{e = 11,45}$$

| oblast             | A                       | B                       | C                       | D                       | E                       |
|--------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| $\underline{h/d}$  | $\underline{C_{pe,10}}$ | $\underline{C_{pe,10}}$ | $\underline{C_{pe,10}}$ | $\underline{C_{pe,10}}$ | $\underline{C_{pe,10}}$ |
| $\underline{0,69}$ | $\underline{-1,20}$     | $\underline{-0,80}$     | $\underline{-0,50}$     | $\underline{0,76}$      | $\underline{-0,42}$     |

| $\underline{q_p \text{ [kN.m}^{-2}\text{]}}$   |                     |                     |                     |                    |                     |
|--|---------------------|---------------------|---------------------|--------------------|---------------------|
| $\underline{=}$                                | $\underline{-0,99}$ | $\underline{-0,66}$ | $\underline{-0,41}$ | $\underline{0,62}$ | $\underline{-0,34}$ |
| $\underline{q_p \text{ [kN.m}^{-1}\text{] =}}$ | $\underline{-0,99}$ | $\underline{-0,66}$ | $\underline{-0,41}$ | $\underline{0,62}$ | $\underline{-0,34}$ |

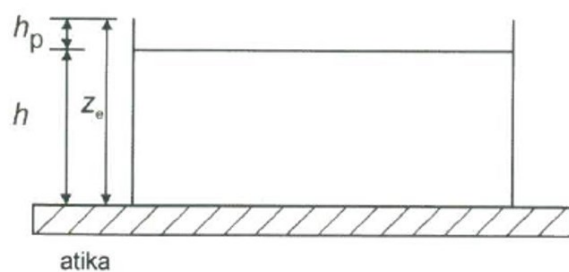
$\underline{b_{ref} =}$   $\underline{1}$  m (zatěžovací šířka)

$$\underline{e < d}$$



Obr. 29 - Rozložení zatížení ve směru y

| Rozměry | L [m] |
|---------|-------|
| A =     | 5,22  |
| B =     | 6,23  |
| C =     | 14,65 |



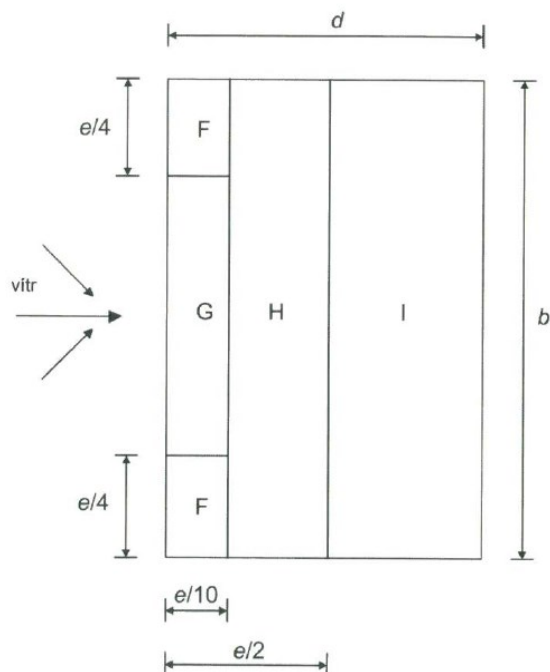
Obr. 30 - Tlak větru na plochou střechu

**Zatížení větrem ze směru x**

$$b = 11,45 \text{ m}$$

$$d = 26,1 \text{ m}$$

$$e = 11,45 \text{ m}$$

*Obr. 31 - Rozložení sil na ploché střeše*

| Rozměry | x [m] | y [m] |
|---------|-------|-------|
| F =     | 1,15  | 2,86  |
| G =     | 1,15  | 5,73  |
| H =     | 4,58  | 11,45 |
| I =     | 20,38 | 11,45 |

**Zatížení větrem ze směru y**

$$b = 26,1 \text{ m}$$

$$d = 11,45 \text{ m}$$

$$e = 26,1 \text{ m}$$

| Rozměry | x [m] | y [m] |
|---------|-------|-------|
| F =     | 2,61  | 6,53  |
| G =     | 2,61  | 13,05 |
| H =     | 10,44 | 26,10 |
| I =     | -1,60 | 26,10 |

## Výsledné zatížení na střeše

| Typ střechy                        |         |   |             | F           | G           | H                  | I               |                 |
|------------------------------------|---------|---|-------------|-------------|-------------|--------------------|-----------------|-----------------|
|                                    |         |   |             | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,10}$        | $c_{pe,10} (-)$ | $c_{pe,10} (+)$ |
| Ostré hrany                        |         |   |             | -1,8        | -1,2        | -0,7               | -0,2            | 0,2             |
| Satikou                            | $h_p/h$ | = | 0,025       | -1,6        | -1,1        | -0,7               | -0,2            | 0,2             |
|                                    | $h_p/h$ | = | 0,05        | -1,4        | -0,9        | -0,7               | -0,2            | 0,2             |
|                                    | $h_p/h$ | = | 0,1         | -1,2        | -0,8        | -0,7               | -0,2            | 0,2             |
|                                    |         |   |             |             |             |                    |                 |                 |
|                                    | $h_p/h$ | = | 0,056       | -1,38       | -0,89       | -0,70              | -0,20           | 0,20            |
|                                    |         |   |             |             |             |                    |                 |                 |
| $q_p \text{ [kN.m}^{-2}\text{]} =$ |         |   |             | -1,48       | -0,99       | -0,58              | -0,16           | 0,16            |
| $q_p \text{ [kN.m}^{-1}\text{]} =$ |         |   |             | -1,48       | -0,99       | -0,58              | -0,16           | 0,16            |
|                                    |         |   | $b_{ref} =$ | 1           | m           | (zatěžovací šířka) |                 |                 |

## Srovnání výsledku ručního výpočtu a programem vygenerovaného zatížení ve směru y

## Střecha

|   | Výpočet | SCIA |
|---|---------|------|
| F | 1,48    | 1,66 |
| G | 0,99    | 1,11 |
| H | 0,7     | 0,65 |
| i | -       | -    |

## Stěny

|   | Výpočet | SCIA |
|---|---------|------|
| D | 0,66    | 0,74 |
| B | 0,44    | 0,46 |



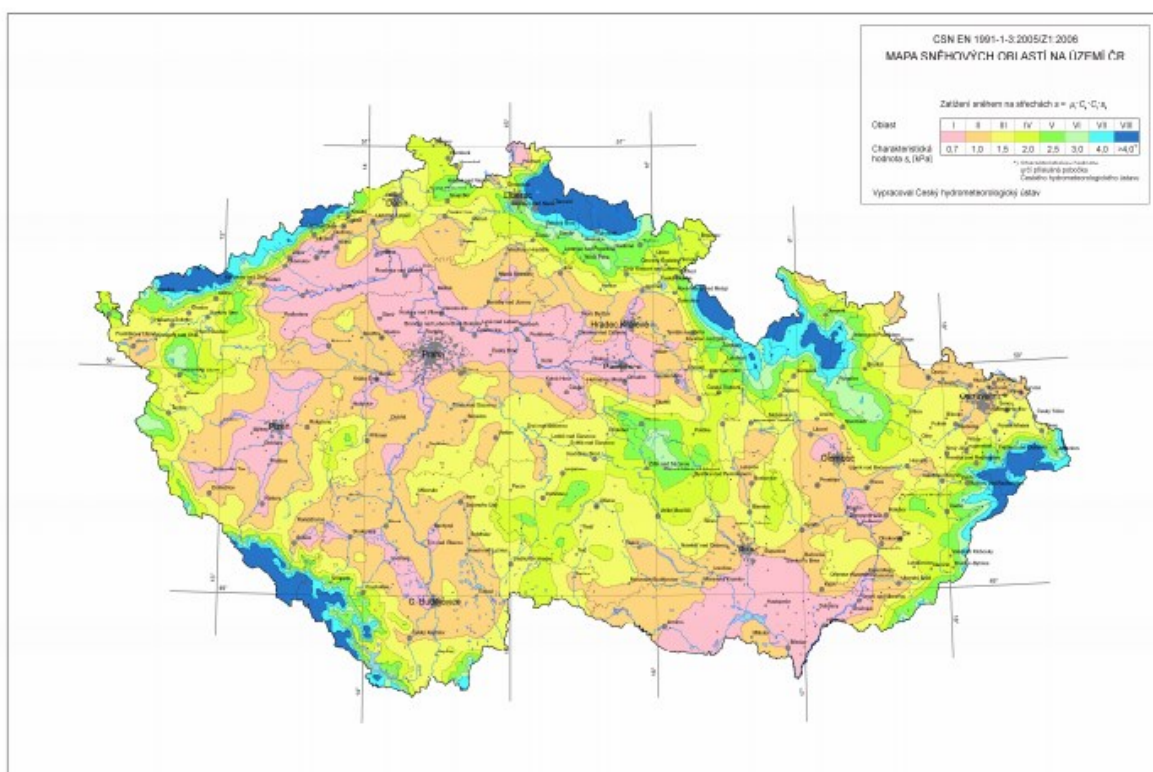
**3.3.3 ZS8 – zatížení sněhem**

Výpočet zatížení sněhem podle ČSN EN 1991-1-3 (Eurokód 1)<sup>[3]</sup>

$$S = \mu_i \cdot c_e \cdot c_t \cdot s_k$$

$s_k$  ... charakteristická hodnota zatížení sněhem na zemi, pro Ostravu oblast II = 1

| Oblast                        | I   | II  | III | IV  | V   | VI  | VII | VIII  |
|-------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|
| $s_k$<br>[kNm <sup>-2</sup> ] | 0,7 | 1,0 | 1,5 | 2,0 | 2,5 | 3,0 | 4,0 | > 4,0 |



Obr. 32 - Mapa sněhových oblastí – obrázek z ČSN EN 1991-1-3 (Eurokód 1)<sup>[3]</sup>

$c_e$  ... součinitel expozice pro naše podmínky = 1

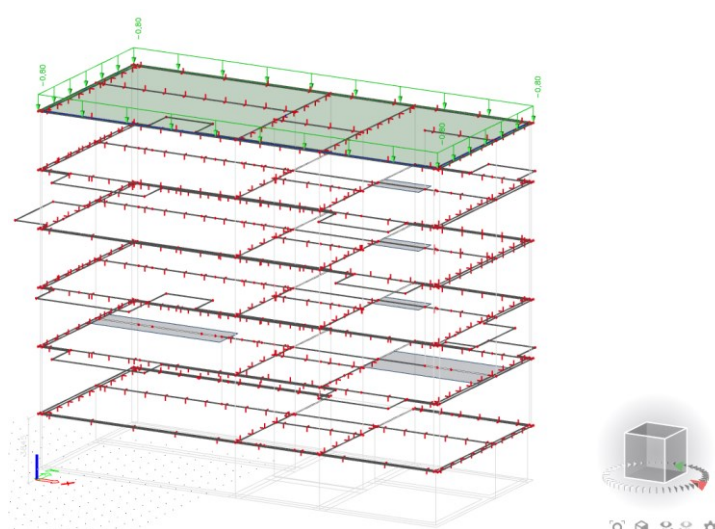
| Typ krajiny | $C_e$ |
|-------------|-------|
| otevřená    | 0,8   |
| normální    | 1,0   |
| chráněná    | 1,2   |

$c_t$  ... tepelný součinitel = 1

$\mu_i$  ... tvarový součinitel zatížení sněhem pro naši střechu = 0,8

| Úhel sklonu střechy | $0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$ | $30^\circ < \alpha < 60^\circ$ | $\alpha \geq 60^\circ$ |
|---------------------|-------------------------------------|--------------------------------|------------------------|
| $\mu_1$             | 0,8                                 | $0,8 (60 - \alpha) / 30$       | 0,0                    |
| $\mu_2$             | $0,8 + 0,8\alpha / 30$              | 1,6                            | ---                    |

$$S = 0,8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 0,8 \text{ kN/m}^2$$



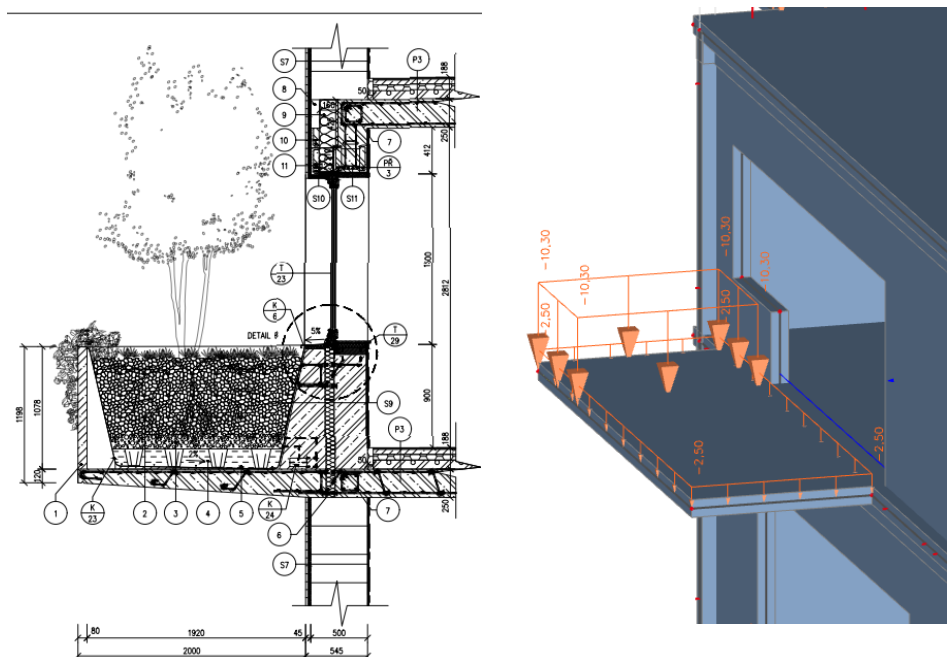
Obr. 33 - Zatížení sněhem na konstrukci

### 3.4 Užitná zatížení

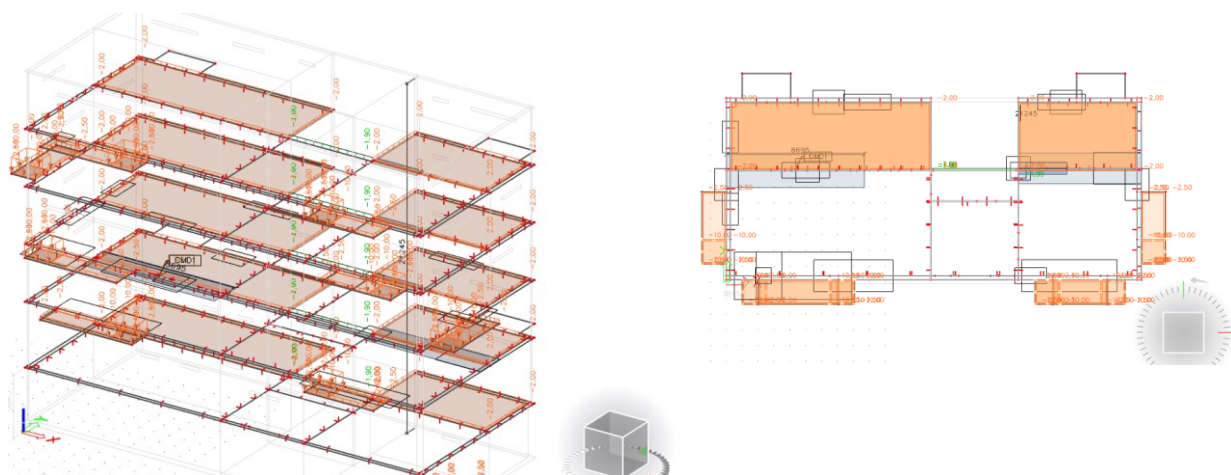
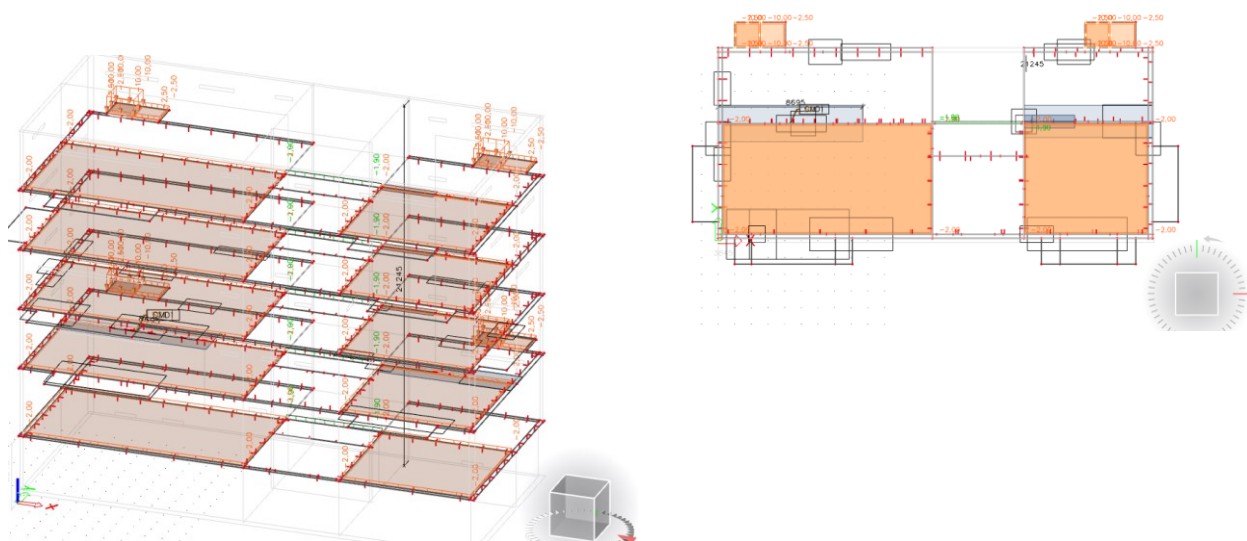
Užitná zatížení kategorie A – obytné plochy a plochy pro domácí činnosti – jsou pro stropní konstrukce  $q_k = 2,0 \text{ kN/m}^2$ , pro balkony  $q_k = 2,5 \text{ kN/m}^2$ .

Užitná zatížení kategorie C<sub>1</sub> pro kavárny, restaurace ap.  $q_k = 3,0 \text{ kN/m}^2$ .

Zvláštním zatížením balkónu je květináč o rozměrech 1900 x 1400 x 1080 mm, naplněný střešním substrátem Florcom o hmotnosti v nasyceném stavu 11,45 kN/m<sup>3</sup>, tj. 12,36 kN/m<sup>2</sup> a osázen stromem javor babyka, jehož výška je navržena 3 m a průměr v prsní výšce 20 cm. Objem bez kůry je vypočítán pomocí kalkulačky na stránkách Drevari.cz <sup>[9]</sup> na 0,044 m<sup>3</sup>, stejným způsobem je vypočítána hmotnost na 39,6 kg. Po konzultaci se zahradním projektantem byla hodnota změněna na 100 kg. Toto zatížení na ploše květináče znamená 0,37 kN/m<sup>2</sup>, což činí celkem 12,73 kN/m<sup>2</sup> na místě květináče.



*Obr. 34 - Zatížení balkónu na výkresu řezu a v modelu*

**3.4.1 ZS4 – šachovité rozdělení užitého zatížení 1, směr y***Obr. 35 - Šachovité rozdělení 1 užitého zatížení směr y, perspektiva a půdorys***3.4.2 ZS5 – šachovité rozdělení užitého zatížení 2, směry***Obr. 36 - Šachovité rozdělení 2 užitého zatížení směr y, perspektiva a půdorys*

### 3.5 Kombinace zatížení

Protože desky jsou členité a změny naopak nejsou až tak výrazné, jsou šachovité roznosy sloučeny do jednoho a uvažovány jako plné užité zatížení.

V programu SCIA byly vytvořeny kombinace nelineární, a to pro mezní stav únosnosti a mezní stav použitelnosti dle následujících kombinačních rovnic.

#### 3.5.1 Mezní stav únosnosti (STR/GEO)

##### Základní kombinace zatížení

Byly vytvořeny podle EN 1990 Zásady navrhování konstrukcí<sup>[1]</sup> podle rovnice 6.10.

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{j > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

##### Dílčí součinitele zatížení

- pro stálá zatížení  $\gamma_G = 1,35$
- pro proměnná zatížení  $\gamma_G = 1,5$

#### 3.5.2 Mezní stav použitelnosti

Charakteristická kombinace byla vytvořena podle EN 1990 Zásady navrhování konstrukcí<sup>[1]</sup> podle rovnice 6.14.

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P_k + Q_{k,1} + \sum_{j > 1} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

#### 3.5.3 Kvazistálá kombinace

Byla vytvořena podle EN 1990 Zásady navrhování konstrukcí<sup>[1]</sup> podle rovnice 6.16.

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P_k + \sum_{j \geq 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

##### Doporučené hodnoty součinitelů $\psi$ pro budovy

Užitná zatížení EN 1991-1-1 Eurokód 1<sup>[1]</sup>

Kategorie A: domácí a obytné plochy

$$\psi_0 = 0,7$$

$$\psi_1 = 0,5$$

$$\psi_2 = 0,3$$

## 4. Statický výpočet

Ve statickém výpočtu jsou uvedeny posudky stropních desek vč. balkonů, základové a střešní desky, průvlaky a zděná stěna. Nejsou uvedeny posudky sloupů, věnce, ztužujícího jádra a schodiště.

### 4.1 Základní charakteristiky materiálu

#### 4.1.1 Zdicí prvky – cihly

Porotherm 50 T Profi Dryfix

|                                 |                       |
|---------------------------------|-----------------------|
| rozměry d/š/v                   | 248 x 500 x 249 mm    |
| objemová hmotnost zdicího prvku | 670 kg/m <sup>3</sup> |
| pevnost v tlaku                 |                       |
| kolmo k ložné spáře             | 8 MPa                 |
| rovnoběžně s ložnou spárou      | 2 MPa                 |

Charakteristická pevnost zdiva v tlaku vyzděného na lepidlo Porotherm Dryfix.extra stanovená ze stránek distributora Wienerberger<sup>[12]</sup> je  $f_k = 3,30 \text{ MPa}$ , součinitel přetvárnosti  $K_E = 300$ , pevnosti zdiva v tahu za ohybu  $f_{xk1} = 0,12 \text{ MPa}$ ,  $f_{xk2} = 0,05 \text{ MPa}$ .

#### 4.1.2 Beton

Třída betonu C25/30

$$f_{ck} = 25 \text{ MPa}$$

$$\gamma_c = 1,5$$

$$\varepsilon_{cu3} = 0,0035$$

$$E_{cm} = 30,5 \text{ GPa}$$

$$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 16,67 \text{ MPa}$$

$$f_{ctk;0,05} = 1,8 \text{ MPa}$$

$$f_{ctd} = \frac{f_{ctk;0,05}}{\gamma_c} = 1,2 \text{ MPa}$$

$$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,7 \text{ MPa}$$

$$f_{ctm} = 2,6 \text{ MPa}$$

### 4.1.3 Výztuž

#### Třída oceli B500B

$$f_{yk} = 500 \text{ MPa}$$

$$\gamma_s = 1,15$$

$$E_s = 210 \text{ GPa}$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = 434,78 \text{ MPa}$$

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{cm}} = 6,88$$

### 4.2 Krytí výztuže

$$c_{min} = \max \left\{ \begin{array}{l} c_{min,b} = \varnothing = 20 \text{ mm} \\ c_{min,dur} = 25 \text{ mm} \\ 10 \text{ mm} \end{array} \right\} = 25 \text{ mm}$$

#### stupeň prostředí XC3

$$\Delta c_{dev} = 5 \text{ mm} \rightarrow \text{řádná kontrola provádění}$$

#### konstrukční třída S4

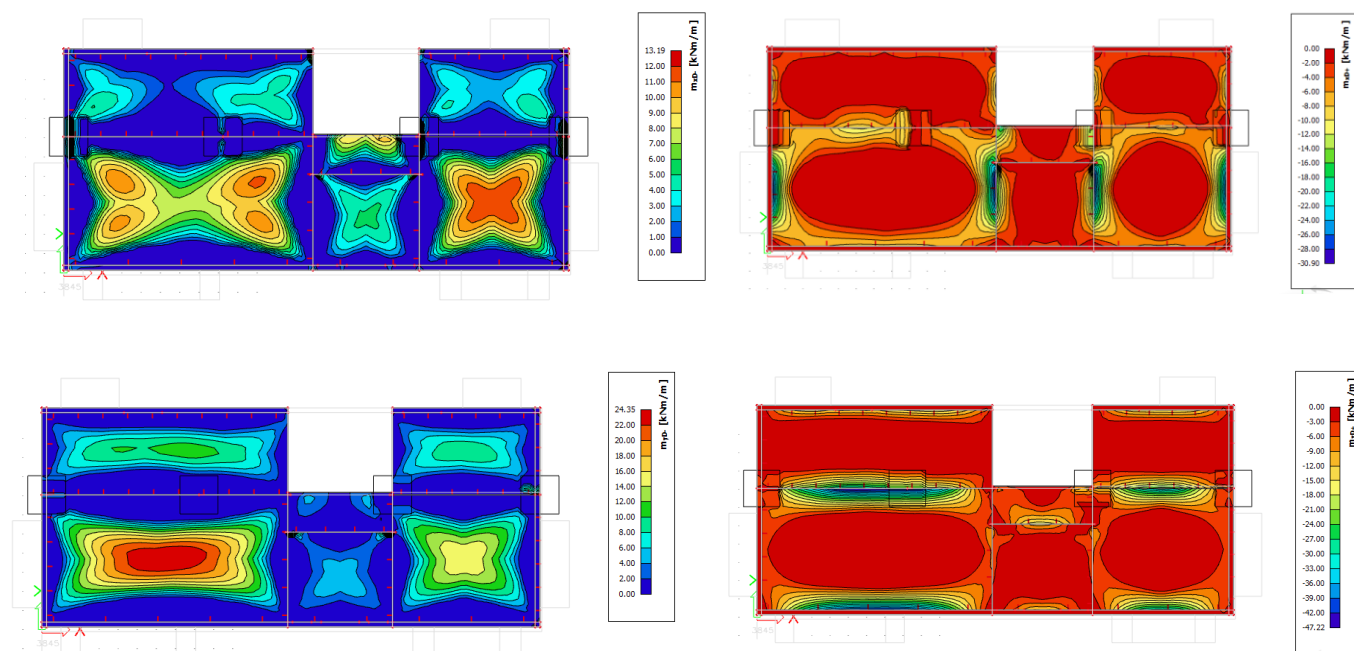
$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 30 \text{ mm}$$

### 4.3 Stropní desky

V uvažovaném objektu jsou všechny stropní desky tlusté 200 mm a po stranách vetknuté, s převislými konci na různých stranách, jež představují balkóny. Pro návrh byly použity základní návrhové vnitřní síly, které byly odečteny z programu SCIA Engineer 20.0 Tyto síly berou v úvahu také kroutící momenty na deskách.

## 4.3.1 Návrhové vnitřní síly desek

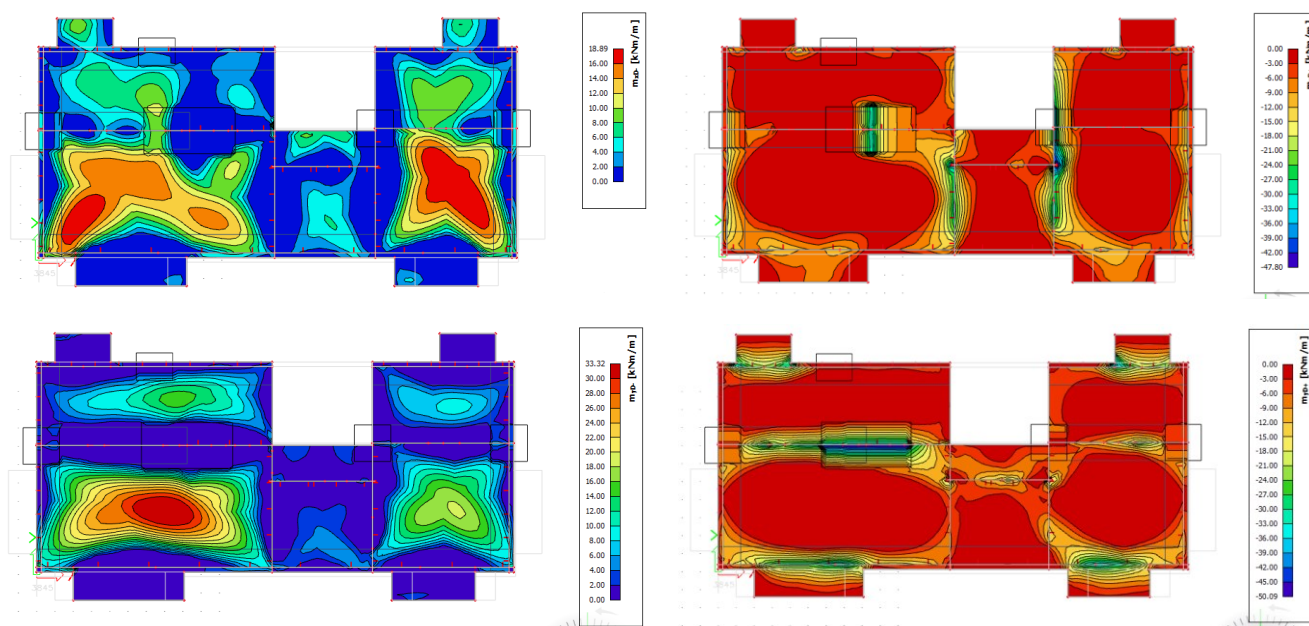
## Stropní deska nad 1. PP



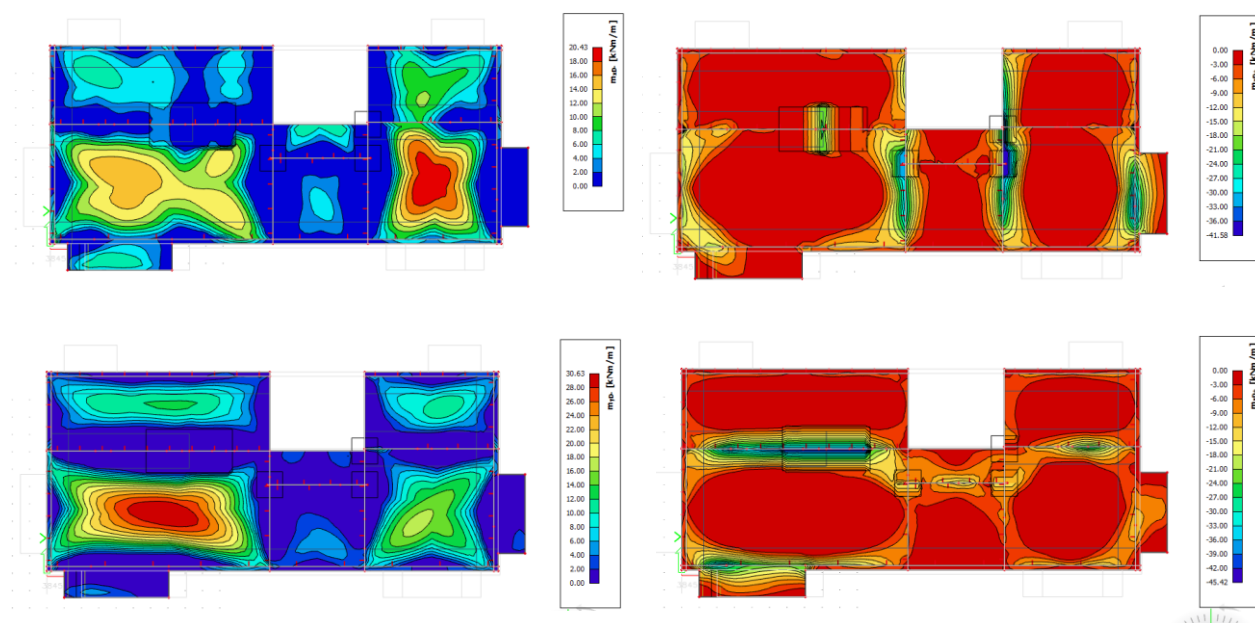
Obr. 37 - Průběh návrhových momentů stropní desky nad 1. PP

|            |                |
|------------|----------------|
| $m_{xD^+}$ | = -30,90 kNm/m |
| $m_{xD^-}$ | = 13,19 kNm/m  |
| $m_{yD^+}$ | = -47,22 kNm/m |
| $m_{yD^-}$ | = 24,35 kNm/m  |



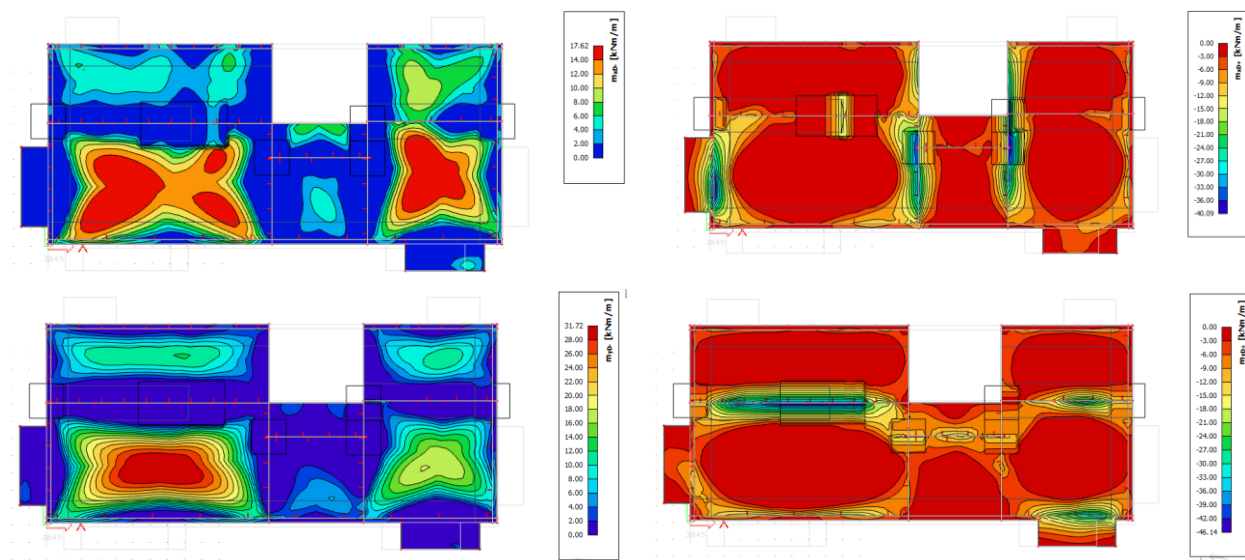
**Deska nad 1. NP***Obr. 38 - Průběh návrhových momentů desky nad 1. NP*

|            |                |
|------------|----------------|
| $m_{xD^+}$ | = -47,80 kNm/m |
| $m_{xD^-}$ | = 18,89 kNm/m  |
| $m_{yD^+}$ | = -50,09 kNm/m |
| $m_{yD^-}$ | = 33,32 kNm/m  |

**Deska nad 2. NP**

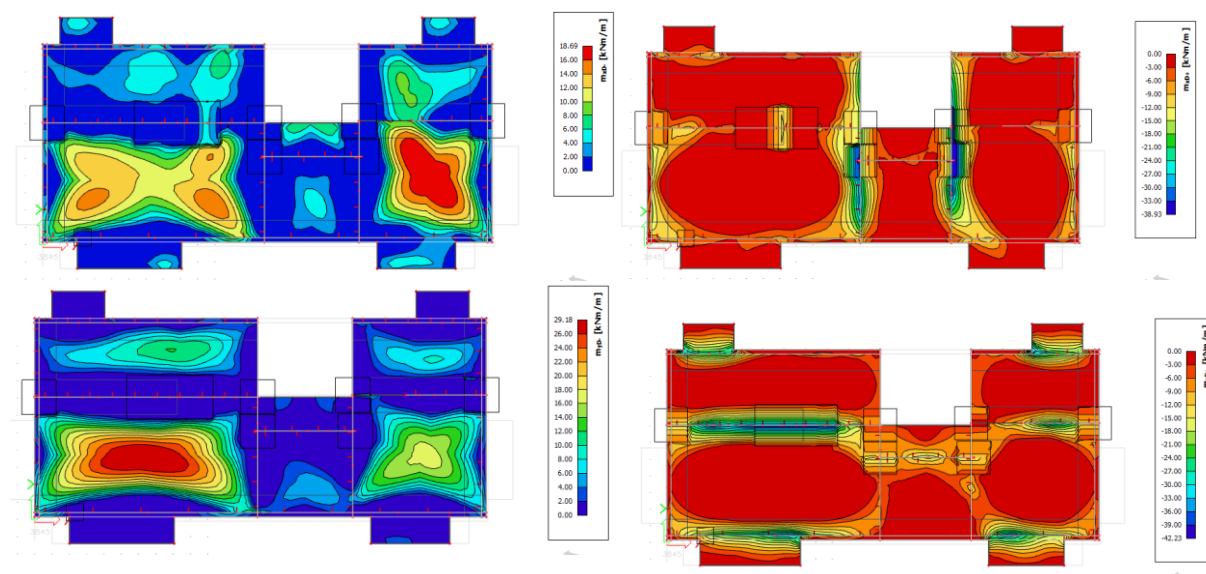
Obr. 39 - Průběh návrhových momentů desky nad 2. NP

|            |                |
|------------|----------------|
| $m_{xD^+}$ | = -41,58 kNm/m |
| $m_{xD^-}$ | = 20,43 kNm/m  |
| $m_{yD^+}$ | = -45,42 kNm/m |
| $m_{yD^-}$ | = 30,63 kNm/m  |

**Deska nad 3. NP**

Obr. 40 - Průběh návrhových momentů desky nad 3. NP

|            |                |
|------------|----------------|
| $m_{xD^+}$ | = -40,09 kNm/m |
| $m_{xD^-}$ | = 17,62 kNm/m  |
| $m_{yD^+}$ | = -46,14 kNm/m |
| $m_{yD^-}$ | = 31,72 kNm/m  |

**Deska nad 4. NP**

Obr. 41 - Průběh návrhových momentů desky 5

|            |                |
|------------|----------------|
| $m_{xD^+}$ | = -38,93 kNm/m |
| $m_{xD^-}$ | = 18,69 kNm/m  |
| $m_{yD^+}$ | = -42,23 kNm/m |
| $m_{yD^-}$ | = 29,18 kNm/m  |

Pro návrh byly použity nejvyšší hodnoty návrhových veličin v obou směrech a u obou okrajů.

|            |                |
|------------|----------------|
| $m_{xD^+}$ | = -47,80 kNm/m |
| $m_{xD^-}$ | = 20,43 kNm/m  |
| $m_{yD^+}$ | = -50,12 kNm/m |
| $m_{yD^-}$ | = 33,32 kNm/m  |

Tabulka maximálních hodnot ze všech desek

S ohledem na vyšší dimenzační momenty ve směru y bude výztuž v tomto směru umístěna vně (blíže okrajům desky).

**4.3.2 Posouzení výztuže pro kladné ohybové momenty – směr x**Ohybový moment

$$m_{ed,x} = 20,43 \text{ kNm/m}$$

Průměr výztuže

$$\emptyset = 10 \text{ mm}$$

Účinná výška průřezu

$$d_x = h_d - c_{nom} - \frac{\emptyset}{2} - \emptyset \text{ výztuže ve směru y} = 200 - 30 - \frac{10}{2} - 14 = 0,153 \text{ m}$$

Nutná plocha výztuže

$$A_{s, req} = \frac{m_{Ed,x^+}}{0,9 \cdot d_x \cdot f_{yd}} = \frac{20,43 \cdot 10^3}{0,9 \cdot 0,153 \cdot 434,78 \cdot 10^6} = 0,000341 \text{ m}^2$$

Návrh  $\emptyset$  10/200 mm

$$s = 200 \text{ mm}$$

$$A_{s, prov} = \frac{\pi \cdot \emptyset^2}{4} \cdot \frac{1000}{s} = \frac{\pi \cdot 0,010^2}{4} \cdot \frac{1000}{200} = 0,000393 \text{ m}^2$$

Síla ve výztuži

$$F_s = A_{s, prov} \cdot f_{yd} = 0,000393 \cdot 434,78 \cdot 10^6 = 170738,7 \text{ N}$$

Výška tlačené oblasti

$$x = \frac{F_s}{\lambda \cdot \eta \cdot f_{cd} \cdot b} = \frac{170738,7}{0,8 \cdot 16,67 \cdot 10^6} = 0,0128 \text{ m}$$

Rameno síly výztuže

$$z = d - 0,4 \cdot x = 0,153 - 0,4 \cdot 0,0128 = 0,1478 \text{ m}$$

Moment na mezi únosnosti

$$m_{Rd,x^-} = F_s \cdot z = 0,1478 \cdot 170738,7 = 25,25 \text{ kNm/m}$$

$$m_{Rd,x^-} = 25,25 \text{ kNm/m} > m_{Ed,x} = 20,43 \text{ kNm/m}$$

→ vyhoví

**4.3.3 Posouzení výztuže pro záporné ohybové momenty – směr x**Ohybový moment

$$m_{Ed,x}^- = 47,8 \text{ kNm} \quad V_{ed} = 60 \text{ kN}$$

$$m_{Ed,x, red}^- = m_{Ed,x}^- - \frac{F_{Ed, sup} \cdot t}{8} = 47,8 - \frac{60 \cdot 0,5}{8} = 44,05 \text{ kNm/m}$$

Průměr výztuže

$$\emptyset = 16 \text{ mm}$$

Účinná výška průřezu

$$d_x = h_d - c_{nom} - \frac{\emptyset}{2} - \emptyset \text{ výztuže v ose y} = 200 - 30 - \frac{16}{2} - 16 = 114 \text{ mm}$$

Nutná plocha výztuže

$$A_{s, req} = \frac{m_{Ed,x}^-}{0,9 \cdot d_x \cdot f_{yd}} = \frac{44,05 \cdot 10^3}{0,9 \cdot 0,114 \cdot 434,78 \cdot 10^6} = 0,000771 \text{ m}^2$$

Návrh  $\emptyset 16/200 \text{ mm}$ 

$$s = 200 \text{ mm}$$

$$A_{s, prov} = \frac{\pi \cdot \emptyset^2}{4} \cdot \frac{1000}{s} = \frac{\pi \cdot 0,016^2}{4} \cdot \frac{1000}{200} = 0,001005 \text{ m}^2$$

Síla ve výztuži

$$F_s = A_{s, prov} \cdot f_{yd} = 0,001005 \cdot 434,78 \cdot 10^6 = 437091,2 \text{ N}$$

Výška tlačené oblasti

$$x = \frac{F_s}{\lambda \cdot \eta \cdot f_{cd} \cdot b} = \frac{437091,2}{0,8 \cdot 16,67 \cdot 10^6} = 0,033 \text{ m}$$

Rameno síly výztuže

$$z = d - 0,4 \cdot x = 114 - 0,4 \cdot 0,033 = 113 \text{ mm}$$

Moment na mezi únosnosti

$$m_{Rd,x} = F_s \cdot z = 437091,2 \cdot 0,113 = 58,1 \text{ kNm/m}$$

$$m_{Rd,x} = 44,05 \text{ kNm/m} > m_{Ed,x} = 44,05 \text{ kNm/m} \quad \rightarrow \text{vyhoví}$$

**4.3.4 Únosnost desky ve smyku – směr x****Posouzení bez smykové výztuže**Součinitel smykové pevnosti

$$C_{Rd,s} = \frac{0,18}{\gamma_c} = \frac{0,18}{1,5} = 0,12$$

Součinitel výšky průřezu

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d_x}} \leq 2 = 1 + \sqrt{\frac{200}{146}} = 2,17 = 2$$

Stupeň vyztužení taženou výztuží

$$\rho_1 = \frac{A_{sl}}{b \cdot d} \leq 0,02 = \frac{0,001005}{1 \cdot 0,146} = 0,0068 \leq 0,02$$

Min. ekvivalent smyková pevnost

$$v_{min} = 0,035 \cdot k^{2/3} \cdot \sqrt{f_{ck}} = 0,035 \cdot 2^{2/3} \cdot \sqrt{25} = 0,278 \text{ MPa}$$

Únosnost ve smyku

$$V_{Rd,c} = C_{Rd,s} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3} \cdot b \cdot d = 0,12 \cdot 2 \cdot (100 \cdot 0,0068 \cdot 25)^{1/3} \cdot 1 \cdot 0,25 =$$

$$= 123,82 \text{ kN/m} > V_{Ed} = 60 \text{ kN/m} \quad \rightarrow \text{vyhoví}$$

**4.3.5 Konstrukční zásady – směr x**Omezení výšky tlačené oblasti

$$\xi = \frac{x}{d_x} = \frac{0,04}{0,196} = 0,224 < \xi_{bal} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} + \frac{f_{yd}}{E_s}} = \frac{0,0035}{0,0035 + \frac{434,78}{210000}} = 0,628 \quad \rightarrow \text{vyhoví}$$

Minimální plocha výztuže v tažené oblasti

$$A_{s,min} = \max \left( \begin{array}{l} 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b \cdot d_x \\ 0,0013 \cdot b \cdot d_x \end{array} \right) = 0,000311 \leq \text{horní } A_{s,prov} = 0,001005 \quad \rightarrow \text{vyhoví}$$

$$\leq \text{dolní } A_{s,prov} = 0,000393$$

Maximální plocha výztuže

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot 0,02 \cdot 1 = 0,008 \geq A_{s,prov} = 0,001005 \quad \rightarrow \text{vyhoví}$$

Maximální osová vzdálenost

$$s_{max} = \min (2 \cdot h; 250 \text{ mm}) = \max (2 \cdot 200; 250 \text{ mm}) = 250 \geq s_{skut} = 200,00 \quad \rightarrow \text{vyhoví}$$

Minimální světlá vzdálenost

$$k_1 = 1,2; k_2 = 5; d_g = 16$$

$$s_{min} = \max(k_1 \cdot \emptyset; d_g + k_2; 20 \text{ mm}) = \max(1,2 \cdot 16; 16 + 5; 20 \text{ mm}) = 21,000 \leq 184,00 \text{ mm}$$

$$s_{min} \leq s_{skut}$$

Kotevní délka

$$l_{b,rqd} = \frac{\emptyset}{4} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{bd}} = \frac{16}{4} \cdot \frac{434,78}{2,7} = 644,12 \text{ mm}$$

$$l_{b,min} = \max(0,3 \cdot l_{b,rqd}; 10 \cdot \emptyset; 20 \text{ mm}) = \max(0,3 \cdot 644,12; 10 \cdot 20; 20 \text{ mm}) = 193,23 \text{ mm}$$

$$l_{bd} = 450 \text{ mm} \geq l_{b,min} = 193,23 \text{ mm} \rightarrow \text{vyhoví}$$

**4.3.6 Posouzení výztuže pro kladné ohybové momenty – směry**Ohybový moment

$$m_{ed,y} = 33,35 \text{ kNm/m}$$

Průměr výztuže

$$\emptyset = 14 \text{ mm}$$

Účinná výška průřezu

$$d_y = h_d - c_{nom} - \frac{\emptyset}{2} = 200 - 30 - \frac{14}{2} = 0,163 \text{ m}$$

Nutná plocha výztuže

$$A_{s, req} = \frac{m_{ed,y}}{0,9 \cdot d_y \cdot f_{yd}} = \frac{33,35 \cdot 10^3}{0,9 \cdot 0,163 \cdot 434,78 \cdot 10^6} = 0,000523 \text{ m}^2$$

Návrh Ø 12/200 mm

$$s = 200 \text{ mm}$$

$$A_{s, prov} = \frac{\pi \cdot \emptyset^2}{4} \cdot \frac{1000}{s} = \frac{\pi \cdot 0,014^2}{4} \cdot \frac{1000}{200} = 0,00077 \text{ m}^2$$

Síla ve výztuži

$$F_s = A_{s, prov} \cdot f_{yd} = 0,00077 \cdot 434,78 \cdot 10^6 = 334647,9 \text{ N}$$

Výška tlačené oblasti

$$x = \frac{F_s}{\lambda \cdot \eta \cdot f_{cd} \cdot b} = \frac{334647,9}{0,8 \cdot 16,67 \cdot 10^6} = 0,025 \text{ m}$$



Rameno síly výztuže

$$z = d - 0,4 \cdot x = 0,163 - 0,4 \cdot 0,025 = 0,153 \text{ m}$$

Moment na mezi únosnosti

$$m_{Rd,y} = F_s \cdot z = 0,153 \cdot 334647,9 = 51,18 \text{ kNm/m}$$

$$m_{Rd,y} = 51,18 \text{ kNm/m} > m_{Ed,x} = 33,35 \text{ kNm/m} \rightarrow \text{vyhoví}$$

**4.3.7 Posouzení výztuže pro záporné ohybové momenty – směr y**Redukovaný ohybový moment

$$m_{Ed,y} = 50,12 \text{ kNm} \quad V_{ed} = 80 \text{ kN}$$

$$m_{Ed,y, red} = m_{Ed,y} - \frac{F_{Ed, sup} \cdot t}{8} = 50,12 - \frac{80 \cdot 0,5}{8} = 45,12 \text{ kNm/m}$$

Průměr výztuže

$$\emptyset = 16 \text{ mm}$$

Účinná výška průřezu

$$d_y = h_d - c_{nom} - \frac{\emptyset}{2} = 200 - 30 - \frac{16}{2} = 0,162 \text{ m}$$

Nutná plocha výztuže

$$A_{s, req} = \frac{m_{Ed,y}}{0,9 \cdot d_y \cdot f_{yd}} = \frac{45,12 \cdot 10^3}{0,9 \cdot 0,162 \cdot 434,78 \cdot 10^6} = 0,000712 \text{ m}^2$$

Návrh  $\emptyset 16/200$  mm

$$s = 200 \text{ mm}$$

$$A_{s, prov} = \frac{\pi \cdot \emptyset^2}{4} \cdot \frac{1000}{s} = \frac{\pi \cdot 0,016^2}{4} \cdot \frac{1000}{200} = 0,001005 \text{ m}^2$$

Síla ve výztuži

$$F_s = A_{s, prov} \cdot f_{yd} = 0,001005 \cdot 434,78 \cdot 10^6 = 437091,2 \text{ N}$$

Výška tlačené oblasti

$$x = \frac{F_s}{\lambda \cdot \eta \cdot f_{cd} \cdot b} = \frac{437091,2}{0,8 \cdot 16,67 \cdot 10^6} = 0,033 \text{ m}$$

Rameno síly výztuže

$$z = d - 0,4 \cdot x = 0,162 - 0,4 \cdot 0,033 = 0,148 \text{ m}$$

Moment na mezi únosnosti

$$m_{Rd,y} = F_s \cdot z = 437091,2 \cdot 0,148 = 65,07 \text{ kNm/m}$$

$$m_{Rd,y} = 65,07 \text{ kNm/m} > m_{Ed,y} = 45,12 \text{ kNm/m} \quad \rightarrow \text{vyhoví}$$

**4.3.8 Únosnost desky ve smyku – směr y****Posouzení bez smykové výztuže**Součinitel smykové pevnosti

$$C_{Rd,s} = \frac{0,18}{\gamma_c} = \frac{0,18}{1,5} = 0,12$$

Součinitel výšky průřezu

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d_y}} \leq 2 = 1 + \sqrt{\frac{200}{162}} = 2,11 = 2$$

Stupeň vyztužení taženou výztuží

$$\rho_1 = \frac{A_{sl}}{b \cdot d} \leq 0,02 = \frac{0,001005}{1 \cdot 0,162} = 0,0062 \leq 0,02$$

Min. ekvivalent smyková pevnost

$$v_{min} = 0,035 \cdot k^{2/3} \cdot \sqrt{f_{ck}} = 0,035 \cdot 2^{2/3} \cdot \sqrt{25} = 0,278 \text{ MPa}$$

Únosnost ve smyku

$$V_{Rd,c} = C_{Rd,s} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3} \cdot b \cdot d = 0,12 \cdot 2 \cdot (100 \cdot 0,0062 \cdot 25)^{1/3} \cdot 1 \cdot 0,25 =$$

$$= 119,61 \text{ kN/m} > V_{Ed} = 80 \text{ kN/m} \quad \rightarrow \text{vyhoví}$$

**4.3.9 Konstrukční zásady – směr y**Omezení výšky tlačené oblasti

$$\zeta = \frac{x}{d_y} = \frac{0,032}{0,162} = 0,202 < \zeta_{bal} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} + \frac{f_{yd}}{E_s}} = \frac{0,0035}{0,0035 + \frac{434,78}{210000}} = 0,628 \quad \rightarrow \text{vyhoví}$$

Minimální plocha výztuže

$$A_{s,min} = \max \left( \begin{array}{l} 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b \cdot d_y \\ 0,0013 \cdot b \cdot d_y \end{array} \right) = 0,000389 \leq \text{horní } A_{s,prov} = 0,001005 \quad \rightarrow \text{vyhoví}$$

$$\leq \text{dolní } A_{s,prov} = 0,00077$$

Maximální plocha výztuže

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot 0,2 \cdot 1 = 0,008 \geq A_{s,prov} = 0,001005 \quad \rightarrow \text{vyhoví}$$

Maximální osová vzdálenost

$$s_{max} = \max(2 \cdot h; 250 \text{ mm}) = \max(2 \cdot 200; 250 \text{ mm}) = 250 \geq s_{skut} = 200,00 \rightarrow \text{vyhoví}$$

Minimální světlá vzdálenost

$$k_1 = 1,2; k_2 = 5; d_g = 16$$

$$s_{min} = \max(k_1 \cdot \emptyset; d_g + k_2; 20 \text{ mm}) = \max(1,2 \cdot 16; 16 + 5; 20 \text{ mm}) = 21,000 \leq 184,00 \text{ mm}$$

$$s_{min} \leq s_{skut}$$

Kotevní délka

$$l_{b,rqd} = \frac{\emptyset}{4} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{bd}} = \frac{16}{4} \cdot \frac{434,78}{2,7} = 644,12 \text{ mm}$$

$$l_{b,min} = \max(0,3 \cdot l_{b,rqd}; 10 \cdot \emptyset; 20 \text{ mm}) = \max(0,3 \cdot 644,12; 10 \cdot 16; 20 \text{ mm}) = 193,23 \text{ mm}$$

$$l_{bd} = 450 \text{ mm} \geq l_{b,min} = 193,23 \text{ mm} \rightarrow \text{vyhoví}$$

**4.3.10 Omezení průhybu**

Podle normy ČSN EN 1992-1-1<sup>[5]</sup> lze od výpočtu upustit, jestliže konstrukce vyhoví poměru rozpětí k účinné výšce.

$$\frac{l}{d} \leq \left(\frac{l}{d}\right)_{mezní} \dots \text{ jestliže tato rovnice platí, lze od výpočtu upustit}$$

Rozpětí pole

$$l_{eff} = 6300 \text{ mm}$$

Účinná výška průřezu

$$d_y = 163 \text{ mm}$$

Referenční stupeň vyztužení

$$\rho_0 = 10^{-3} \cdot \sqrt{f_{ck}} = 0,001 \cdot \sqrt{25} = 0,005$$

Požadovaný stupeň vyztužení

$$\rho = \frac{A_{s,req}}{b \cdot d} = \frac{0,00077}{0,163} = 0,0043$$

Součinitel nosného systému

$$K = 1,3$$

$$\frac{310}{\sigma_s} = \frac{500}{f_{yk} \cdot A_{s,req} / A_{s,prov}} = \frac{500}{500 \cdot (0,000523 / 0,00077)} = 1,47$$

$$\frac{l}{d} = 38,65 \leq K \cdot \left[ 11 + 1,5 \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot \frac{\rho_0}{\rho} + 3,2 \sqrt{f_{ck}} \cdot \left( \frac{\rho_0}{\rho} - 1 \right)^{\frac{3}{2}} \right]$$

$$\left( \frac{l}{d} \right)_{mezní} = 1,3 \cdot \left[ 11 + 1,5 \cdot \sqrt{25} \cdot \frac{0,005}{0,0043} + 3,2 \sqrt{25} \cdot \left( \frac{0,005}{0,0043} - 1 \right)^{\frac{3}{2}} \right] = 26,462 \cdot 1,47 =$$

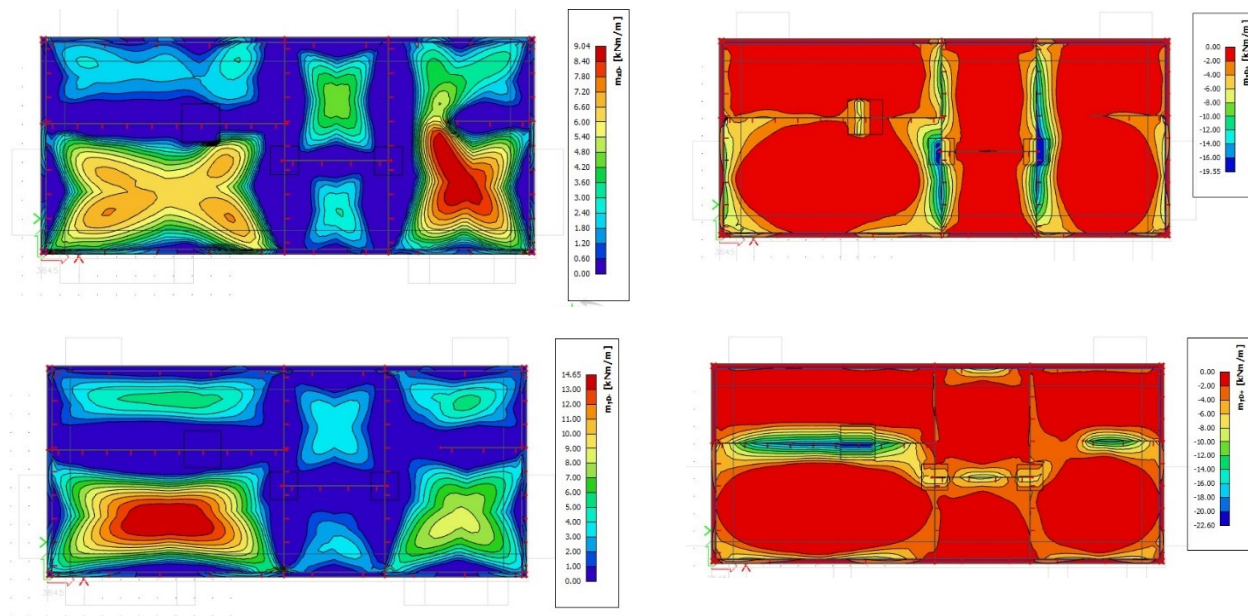
$$= 38,95$$

→ vyhoví

## 4.4 Střešní deska

Je navržena jako rovná železobetonová deska tloušťky 150 mm. Skladba střechy je střešní krytina ve sklonu 2° a polystyrénová izolace. To celé s tíhou do 0,2 kN/m<sup>2</sup>, která působí rovnoměrně na celé ploše spolu s již dříve zmíněným klimatickým zatížením.

### 4.4.1 Návrhové vnitřní síly střešní desky



Obr. 42 - Průběh návrhových ohybových momentů na střešní desce

|            |          |       |
|------------|----------|-------|
| $m_{xD^+}$ | = -19,55 | kNm/m |
| $m_{xD^-}$ | = +9,04  | kNm/m |
| $m_{yD^+}$ | = -22,6  | kNm/m |
| $m_{yD^-}$ | = +14,65 | kNm/m |

**Posouzení výztuže pro kladné ohybové momenty – směr x**

Ohybový moment

$$m_{ed,x} = 9,04 \text{ kNm/m}$$

Průměr výztuže

$$\emptyset = 10 \text{ mm}$$

Účinná výška průřezu

$$d_x = h_d - c_{nom} - \frac{\phi}{2} - \phi \text{ výztuže ve směru } y = 150 - 30 - \frac{10}{2} - 0,1 = 0,105 \text{ m}$$

Nutná plocha výztuže

$$A_{s, req} = \frac{m_{Ed,x^+}}{0,9 \cdot d_x \cdot f_{yd}} = \frac{9,04 \cdot 10^3}{0,9 \cdot 0,105 \cdot 434,78 \cdot 10^6} = 0,00022 \text{ m}^2$$

Návrh  $\phi$  10/200 mm

$$s = 200 \text{ mm}$$

$$A_{s, prov} = \frac{\pi \cdot \phi^2}{4} \cdot \frac{1000}{s} = \frac{\pi \cdot 0,010^2}{4} \cdot \frac{1000}{200} = 0,000393 \text{ m}^2$$

Síla ve výztuži

$$F_s = A_{s, prov} \cdot f_{yd} = 0,000393 \cdot 434,78 \cdot 10^6 = 170738,7 \text{ N}$$

Výška tlačené oblasti

$$x = \frac{F_s}{\lambda \cdot \eta \cdot f_{cd} \cdot b} = \frac{170739,7}{0,8 \cdot 16,67 \cdot 10^6} = 0,0128 \text{ m}$$

Rameno síly výztuže

$$z = d - 0,4 \cdot x = 0,105 - 0,4 \cdot 0,0128 = 0,099 \text{ m}$$

Moment na mezi únosnosti

$$m_{Rd,x^-} = F_s \cdot z = 0,099 \cdot 170738,7 = 17,05 \text{ kNm/m}$$

$$m_{Rd,x^-} = 17,05 \text{ kNm/m} > m_{Ed,x} = 9,04 \text{ kNm/m} \rightarrow \text{vyhoví}$$

**4.4.2 Posouzení výztuže pro záporné ohybové momenty – směr x**Ohybový moment

$$m_{Ed,x}^- = 19,22 \text{ kNm} \quad V_{ed} = 30 \text{ kN}$$

$$m_{Ed,x, red}^- = m_{Ed,x}^- - \frac{F_{Ed, sup} \cdot t}{8} = 19,22 - \frac{30 \cdot 0,5}{8} = 17,34 \text{ kNm/m}$$

Průměr výztuže

$$\emptyset = 12 \text{ mm}$$

Účinná výška průřezu

$$d_x = h_d - c_{nom} - \frac{\emptyset}{2} - \emptyset \text{ výztuže v ose y} = 150 - 30 - \frac{12}{2} - 12 = 91,02 \text{ mm}$$

Nutná plocha výztuže

$$A_{s, req} = \frac{m_{Ed,x}^-}{0,9 \cdot d_x \cdot f_{yd}} = \frac{17,34 \cdot 10^3}{0,9 \cdot 0,102 \cdot 434,78 \cdot 10^6} = 0,000435 \text{ m}^2$$

Návrh  $\emptyset$  12/200 mm

$$s = 200 \text{ mm}$$

$$A_{s, prov} = \frac{\pi \cdot \emptyset^2}{4} \cdot \frac{1000}{s} = \frac{\pi \cdot 0,012^2}{4} \cdot \frac{1000}{200} = 0,000565 \text{ m}^2$$

Síla ve výztuži

$$F_s = A_{s, prov} \cdot f_{yd} = 0,000565 \cdot 434,78 \cdot 10^6 = 245863,8 \text{ N}$$

Výška tlačené oblasti

$$x = \frac{F_s}{\lambda \cdot \eta \cdot f_{cd} \cdot b} = \frac{245863,8}{0,8 \cdot 16,67 \cdot 10^6} = 0,01844 \text{ m}$$

Rameno síly výztuže

$$z = d - 0,4 \cdot x = 91,02 - 0,4 \cdot 0,01844 = 89,29 \text{ m}$$

Moment na mezi únosnosti

$$m_{Rd,x} = F_s \cdot z = 245863,8 \cdot 0,095 = 23,26 \text{ kNm/m}$$

$$m_{Rd,x} = 23,26 \text{ kNm/m} > m_{Ed,x} = 17,34 \text{ kNm/m} \quad \rightarrow \text{vyhoví}$$



**4.4.3 Únosnost desky ve smyku – směr x****Posouzení bez smykové výztuže**Součinitel smykové pevnosti

$$C_{Rd,s} = \frac{0,18}{\gamma_c} = \frac{0,18}{1,5} = 0,12$$

Součinitel výšky průřezu

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d_x}} \leq 2 = 1 + \sqrt{\frac{200}{102}} = 2,4 = 2$$

Stupeň vyztužení taženou výztuží

$$\rho_1 = \frac{A_{sl}}{b \cdot d} \leq 0,02 = \frac{0,000565}{1 \cdot 0,102} = 0,005544 \leq 0,02$$

Min. ekvivalent smyková pevnost

$$v_{min} = 0,035 \cdot k^{2/3} \cdot \sqrt{f_{ck}} = 0,035 \cdot 2^{2/3} \cdot \sqrt{25} = 0,278 \text{ MPa}$$

Únosnost ve smyku

$$V_{Rd,c} = C_{Rd,s} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3} \cdot b \cdot d = 0,12 \cdot 2 \cdot (100 \cdot 0,005544 \cdot 25)^{1/3} \cdot 1 \cdot 0,25 =$$

$$= 103,69 \text{ kN/m} > V_{Ed} = 30 \text{ kN/m} \quad \rightarrow \text{vyhoví}$$

**4.4.4 Konstrukční zásady – směr x**Omezení výšky tlačené oblasti

$$\xi = \frac{x}{d_x} = \frac{0,0184}{0,102} = 0,18 < \xi_{bal} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} + \frac{f_{yd}}{E_s}} = \frac{0,0035}{0,0035 + \frac{434,78}{210000}} = 0,628 \quad \rightarrow \text{vyhoví}$$

Minimální plocha výztuže v tažené oblasti

$$A_{s,min} = \max \left( \begin{array}{l} 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b \cdot d_x \\ 0,0013 \cdot b \cdot d_x \end{array} \right) = 0,000233 \leq \text{horní } A_{s,prov} = 0,000565 \quad \rightarrow \text{vyhoví}$$

$$\leq \text{dolní } A_{s,prov} = 0,000393$$

Maximální plocha výztuže

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot 0,25 \cdot 1 = 0,01 \geq A_{s,prov} = 0,000565 \quad \rightarrow \text{vyhoví}$$

Maximální osová vzdálenost

$$s_{max} = \min (2 \cdot h; 250 \text{ mm}) = \max (2 \cdot 150; 250 \text{ mm}) = 250 \geq s_{skut} = 200,00 \quad \rightarrow \text{vyhoví}$$

Minimální světlá vzdálenost

$$k_1 = 1,2; k_2 = 5; d_g = 16$$

$$s_{min} = \max(k_1 \cdot \emptyset; d_g + k_2; 20 \text{ mm}) = \max(1,2 \cdot 20; 16 + 5; 20 \text{ mm}) = 24,000 \leq 184,00 \text{ mm}$$

$$s_{min} \leq s_{skut}$$

Kotevní délka

$$l_{b,rqd} = \frac{\emptyset}{4} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{bd}} = \frac{16}{4} \cdot \frac{434,78}{2,7} = 644,12 \text{ mm}$$

$$l_{b,min} = \max(0,3 \cdot l_{b,rqd}; 10 \cdot \emptyset; 20 \text{ mm}) = \max(0,3 \cdot 644,12; 10 \cdot 20; 20 \text{ mm}) = 193,23 \text{ mm}$$

$$l_{bd} = 450 \text{ mm} \geq l_{b,min} = 193,23 \text{ mm} \rightarrow \text{vyhoví}$$

**4.4.5 Posouzení výztuže pro kladné ohybové momenty – směr y**Ohybový moment

$$m_{ed,y} = 14,65 \text{ kNm/m}$$

Průměr výztuže

$$\emptyset = 10 \text{ mm}$$

Účinná výška průřezu

$$d_y = h_d - c_{nom} - \frac{\emptyset}{2} = 150 - 30 - \frac{10}{2} = 0,115 \text{ m}$$

Nutná plocha výztuže

$$A_{s, req} = \frac{m_{Ed,y}}{0,9 \cdot d_y \cdot f_{yd}} = \frac{14,65 \cdot 10^3}{0,9 \cdot 0,115 \cdot 434,78 \cdot 10^6} = 0,000326 \text{ m}^2$$

Návrh  $\emptyset$  10/200 mm

$$s = 200 \text{ mm}$$

$$A_{s, prov} = \frac{\pi \cdot \emptyset^2}{4} \cdot \frac{1000}{s} = \frac{\pi \cdot 0,01^2}{4} \cdot \frac{1000}{200} = 0,000393 \text{ m}^2$$

Síla ve výztuži

$$F_s = A_{s, prov} \cdot f_{yd} = 0,000393 \cdot 434,78 \cdot 10^6 = 170738,7 \text{ N}$$

Výška tlačené oblasti

$$x = \frac{F_s}{\lambda \cdot \eta \cdot f_{cd} \cdot b} = \frac{170738,8}{0,8 \cdot 16,67 \cdot 10^6} = 0,0128 \text{ m}$$

Rameno síly výztuže

$$z = d - 0,4 \cdot x = 0,115 - 0,4 \cdot 0,0128 = 0,109 \text{ m}$$

Moment na mezi únosnosti

$$m_{Rd,y} = F_s \cdot z = 0,109 \cdot 170738,7 = 18,76 \text{ kNm/m}$$

$$m_{Rd,y} = 18,76 \text{ kNm/m} > m_{Ed,x} = 14,65 \text{ kNm/m} \rightarrow \text{vyhoví}$$

**4.4.6 Posouzení výztuže pro záporné ohybové momenty – směr y**Redukovaný ohybový moment

$$m_{Ed,y} = 22,6 \text{ kNm} \quad V_{ed} = 30 \text{ kN}$$

$$m_{Ed,y, red} = m_{Ed,y} - \frac{F_{Ed, sup} \cdot t}{8} = 22,3 - \frac{30 \cdot 0,5}{8} = 20,72 \text{ kNm/m}$$

Průměr výztuže

$$\emptyset = 12 \text{ mm}$$

Účinná výška průřezu

$$d_y = h_d - c_{nom} - \frac{\emptyset}{2} = 250 - 30 - \frac{12}{2} = 0,114 \text{ m}$$

Nutná plocha výztuže

$$A_{s, req} = \frac{m_{Ed,y}}{0,9 \cdot d_y \cdot f_{yd}} = \frac{22,6 \cdot 10^3}{0,9 \cdot 0,114 \cdot 434,78 \cdot 10^6} = 0,000465 \text{ m}^2$$

Návrh  $\emptyset$  12/200 mm

$$s = 200 \text{ mm}$$

$$A_{s, prov} = \frac{\pi \cdot \emptyset^2}{4} \cdot \frac{1000}{s} = \frac{\pi \cdot 0,012^2}{4} \cdot \frac{1000}{200} = 0,000565 \text{ m}^2$$

Síla ve výztuži

$$F_s = A_{s, prov} \cdot f_{yd} = 0,000565 \cdot 434,78 \cdot 10^6 = 245863 \text{ N}$$

Výška tlačené oblasti

$$x = \frac{F_s}{\lambda \cdot \eta \cdot f_{cd} \cdot b} = \frac{245863}{0,8 \cdot 16,67 \cdot 10^6} = 0,01844 \text{ m}$$

Rameno síly výztuže

$$z = d - 0,4 \cdot x = 0,114 - 0,4 \cdot 0,01844 = 0,106 \text{ m}$$

Moment na mezi únosnosti

$$m_{Rd,y} = F_s \cdot z = 245863 \cdot 0,106 = 26,22 \text{ kNm/m}$$

$$m_{Rd,y} = 26,22 \text{ kNm/m} > m_{Ed,y} = 20,72 \text{ kNm/m} \quad \rightarrow \text{vyhoví}$$

**4.4.7 Únosnost desky ve smyku – směr y****Posouzení bez smykové výztuže**Součinitel smykové pevnosti

$$C_{Rd,s} = \frac{0,18}{\gamma_c} = \frac{0,18}{1,5} = 0,12$$

Součinitel výšky průřezu

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d_y}} \leq 2 = 1 + \sqrt{\frac{200}{114}} = 2,32 = 2$$

Stupeň vyztužení taženou výztuží

$$\rho_1 = \frac{A_{sl}}{b \cdot d} \leq 0,02 = \frac{0,000393}{1 \cdot 0,115} = 0,00344 \leq 0,02$$

Min. ekvivalent smyková pevnost

$$v_{min} = 0,035 \cdot k^{2/3} \cdot \sqrt{f_{ck}} = 0,035 \cdot 2^{2/3} \cdot \sqrt{25} = 0,277 \text{ MPa}$$

Únosnost ve smyku

$$V_{Rd,c} = C_{Rd,s} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3} \cdot b \cdot d = 0,12 \cdot 2 \cdot (100 \cdot 0,00344 \cdot 25)^{1/3} \cdot 1 \cdot 0,25 = 85,7 \text{ kN/m} > V_{Ed} = 30 \text{ kN/m} \rightarrow \text{vyhoví}$$

**4.4.8 Konstrukční zásady – směr y**Omezení výšky tlačené oblasti

$$\xi = \frac{x}{d_y} = \frac{0,01844}{0,114} = 0,161 < \xi_{bal} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} + \frac{f_{yd}}{E_s}} = \frac{0,0035}{0,0035 + \frac{434,78}{210000}} = 0,628 \rightarrow \text{vyhoví}$$

Minimální plocha výztuže

$$A_{s,min} = \max \left( \begin{array}{l} 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b \cdot d_y \\ 0,0013 \cdot b \cdot d_y \end{array} \right) = 0,000233 \leq \text{horní } A_{s,prov} = 0,000565 \rightarrow \text{vyhoví}$$

$$\leq \text{dolní } A_{s,prov} = 0,000393$$

Maximální plocha výztuže

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot 0,25 \cdot 1 = 0,01 \geq A_{s,prov} = 0,000565 \rightarrow \text{vyhoví}$$

Maximální osová vzdálenost

$$s_{max} = \min (2 \cdot h; 250 \text{ mm}) = \min (2 \cdot 150; 250 \text{ mm}) = 250 \geq s_{skut} = 200,00 \rightarrow \text{vyhoví}$$

Minimální světlá vzdálenost

$$k_1 = 1,2; k_2 = 5; d_g = 16$$

$$s_{min} = \max(k_1 \cdot \emptyset; d_g + k_2; 20 \text{ mm}) = \max(1,2 \cdot 16; 16 + 5; 20 \text{ mm}) = 21,000 \leq 184,00 \text{ mm}$$

$$s_{min} \leq s_{skut}$$

Kotevní délka

$$l_{b,rqd} = \frac{\emptyset}{4} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{bd}} = \frac{16}{4} \cdot \frac{434,78}{2,7} = 644,12 \text{ mm}$$

$$l_{b,min} = \max(0,3 \cdot l_{b,rqd}; 10 \cdot \emptyset; 20 \text{ mm}) = \max(0,3 \cdot 644,12; 10 \cdot 16; 20 \text{ mm}) = 193,23 \text{ mm}$$

$$l_{bd} = 450 \text{ mm} \geq l_{b,min} = 193,23 \text{ mm} \rightarrow \text{vyhoví}$$

**4.4.9 Omezení průhybu**Rozpětí pole

$$l_{eff} = 6300 \text{ mm}$$

Účinná výška průřezu

$$d_y = 0,115 \text{ mm}$$

Referenční stupeň vyztužení

$$\rho_0 = 10^{-3} \cdot \sqrt{f_{ck}} = 0,001 \cdot \sqrt{25} = 0,005$$

Požadovaný stupeň vyztužení

$$\rho = \frac{A_{s,req}}{d} = \frac{0,000326}{0,115} = 0,002831$$

Součinitel nosného systému

$$K = 1,3$$

$$\frac{310}{\sigma_s} = \frac{500}{f_{yk} \cdot A_{s,req} / A_{s,prov}} = \frac{500}{500 \cdot (0,000326 / 0,000393)} = 1,21$$

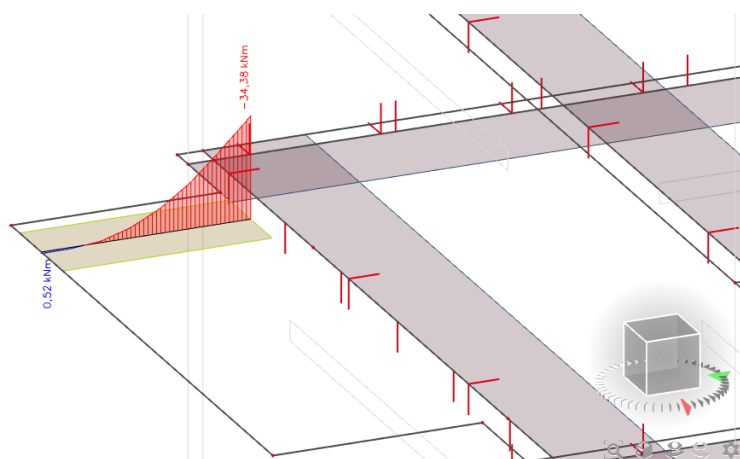
$$\frac{l}{d} = 54,78 \leq K \cdot \left[ 11 + 1,5 \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot \frac{\rho_0}{\rho} + 3,2 \sqrt{f_{ck}} \cdot \left( \frac{\rho_0}{\rho} - 1 \right)^{\frac{3}{2}} \right]$$

$$\left( \frac{l}{d} \right)_{mezní} = 1,3 \cdot \left[ 11 + 1,5 \cdot \sqrt{25} \cdot \frac{0,005}{0,002831} + 3,2 \sqrt{25} \cdot \left( \frac{0,005}{0,002831} - 1 \right)^{\frac{3}{2}} \right] = 45,47 \cdot 1,21 = 54,85 \rightarrow \text{vyhoví}$$

## 4.5 Balkón

V našem projektu jsou balkóny vyloženy 2 m do prostoru a velmi zatížené stálým zatížením od okrasné výsadby, jež představuje květináč s hlínou a v něm zasazený strom. Právě pro toto velké zatížení je nutno provést podrobný výpočet omezení průhybu za dobu životnosti.

Návrh a posouzení výztuže balkónu bylo provedeno v návrhu stropních desek, protože je balkón součástí desky.



Obr. 43 - Průběh ohybových momentů na integračním páse balkónu s charakteristickou kombinací zatížení

### Mezní stav použitelnosti

#### Výztuž horní

$$d = h - c - \frac{\emptyset}{2} = 200 - 30 - \frac{16}{2} = 0,162 \text{ m}$$

$$A_{s,prov} = \emptyset 16/200 \text{ mm} = 10,05 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

#### Výztuž dolní

$$d = c + \frac{\emptyset}{2} = 30 + \frac{14}{2} = 0,037 \text{ m}$$

**Ideální průřez – bez trhlin**Průřezové charakteristiky

$$A_i^I = A_c^I + \alpha_e A_{s1} + \alpha_e A_{s2}$$

$$A_i^I = 1 \cdot 0,2 + 6,55 \cdot (10,05 + 7,7) \cdot 10^{-4} = 0,2 + 0,0116 = 0,2116 \text{ m}^2$$

$$a_{gi} = \frac{A_c a_c + \alpha_e (A_{s1} \cdot d + A_{s2} \cdot d_2)}{A_i} =$$

$$a_{gi} = \frac{0,2 \cdot 0,1 + 6,55 (10,05 \cdot 0,162 + 0,037 \cdot 7,7) \cdot 10^{-4}}{0,2116} = 0,10044 \text{ m}$$

Moment setrvačnosti

$$I_i^I = I_c^I + A_c^I (a_{gi} - a_c)^2 + \alpha_e \cdot A_{s1} \cdot (a_{gi} - d)^2$$

$$I_c^I = \frac{1}{12} b \cdot h^3 = \frac{1}{12} 0,2^3 = 666,67 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$I_i^I = 666,67 \cdot 10^{-6} + 0,2 \cdot (0,1 - 0,10044)^2 + 6,55 \cdot 10,05 \cdot 10^{-4} (0,10044 - 0,162)^2 + 6,55 \cdot 7,7 \cdot 10^{-4} (0,10044 - 0,037)^2 = 711,95 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

Napětí v dolních (tažených) vláknech

$$\sigma_{cl} = \frac{N_{Ek}}{A_i} + \frac{M_{Ek}}{I_i} (h - a_{gi})$$

$$\sigma_{cl} = 0 + \frac{34,38}{711,95 \cdot 10^{-6}} (0,2 - 0,10044) = 4807 \text{ kPa}$$

$$\sigma_{cl} = 4,807 \text{ MPa} \geq f_{ctm} = 2,6 \text{ MPa} \rightarrow \text{vzniknou trhliny}$$

Výpočet části průřezu x, neporušené trhlínami

$$x^3 - 3 \cdot e \cdot x^2 - \frac{6\alpha_e}{b} [A_{s2} (e - d_2) + A_{s1} (e - d)] x + \frac{6\alpha_e}{b} [A_{s2} \cdot d_2 (e - d_2) + A_{s1} \cdot d \cdot (e - d)] = 0$$

Pro ohyb bez působení normálové síly lze odvodit

$$0,5 \cdot b \cdot x^2 + \alpha_e (A_{s2} + A_{s1}) x - \alpha_e (A_{s1} \cdot d + A_{s2} \cdot d_2) = 0$$

**Ideální průřez – s trhlínou**Výpočet části průřezu x

$$0,5 \cdot b \cdot x^2 + \alpha_e (A_{s2} + A_{s1}) x - \alpha_e (A_{s1} \cdot d + A_{s2} \cdot d_2) = 0$$

$$0,5 \cdot x^2 + 11,62 \cdot 10^{-3} x - 1,25 \cdot 10^{-3} = 0$$

$$D = b^2 - 4ac = (11,62 \cdot 10^{-3})^2 + 4 \cdot 0,5 \cdot 1,25 \cdot 10^{-3} = 26,35 \cdot 10^{-4} \rightarrow \sqrt{D} = 0,051$$

$$x_{1,2} = \frac{-11,62 \cdot 10^{-3} \pm 0,051}{2 \cdot 0,5} = 0,039 \text{ m}$$



Průřezové charakteristiky

$$A_i^{II} = A_{ci}^{II} + \alpha_e A_{s1} + \alpha_e A_{s2}$$

$$A_i^I = 0,039 + 6,55 \cdot (10,05 + 7,7) \cdot 10^{-4} = 0,0506 \text{ m}^2$$

$$a_{gi} = \frac{A_c \cdot a_c + \alpha_e (A_{s1} \cdot d + A_{s2} \cdot d_2)}{A_i}$$

$$a_{gi} = \frac{0,039 \cdot \frac{0,039}{2} + 6,55 (10,05 \cdot 0,162 + 7,7 \cdot 0,037) \cdot 10^{-4}}{0,0506} = 0,0397 \text{ m}$$

Moment setrvačnosti průřezu

$$I_i^{II} = I_c^I + A_c^{II} (a_{gi} - a_c)^2 + \alpha_e \cdot A_{s1} \cdot (a_{gi} - d)^2 + \alpha_e \cdot A_{s2} \cdot (a_{gi} - d_2)^2$$

$$I_c^I = \frac{1}{12} b \cdot h^3 = \frac{1}{12} 1 \cdot 0,039^3 = 4,94 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$I_i^{II} = 4,94 \cdot 10^{-6} + 0,0506 \cdot \left( \frac{0,039}{2} - 0,0397 \right)^2 + 6,55 \cdot 10,05 \cdot 10^{-4} (0,0397 - 0,162)^2 + 6,55 \cdot 7,7 \cdot 10^{-4} (0,0397 - 0,037)^2 = 124,08 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

Moment na mezi vzniku trhlin

$$\frac{M_{cr}}{I_{ci}^I} \cdot (h - a_{gi}) \leq f_{ctm}$$

$$M_{cr} \leq \frac{f_{ctm} \cdot I_c^I}{(h - a_{gi})} = \frac{2,6 \cdot 10^3 \cdot 666,67 \cdot 10^{-6}}{(0,2 - 0,10044)} = 17,41 \text{ kNm}$$

$$\zeta = 1 - \beta \left( \frac{M_{cr}}{M_{Ek}} \right)^2 = 1 - 0,5 \left( \frac{17,41}{34,38} \right)^2 = 0,87$$

**Výpočet průhybu – zohlednění dotvarování**Bez trhlin

$$f_{kvazi}^I = \frac{p_{kvazi} \cdot L^4}{8 E_{cm} I_{ci}^I} = \frac{17,86 \cdot 2^4}{8 \cdot 30,5 \cdot 10^6 \cdot 666,67 \cdot 10^{-6}} = 0,00175 \text{ m}$$

Stanovení efektivního modulu pružnosti  $E_{c,eff}$ 

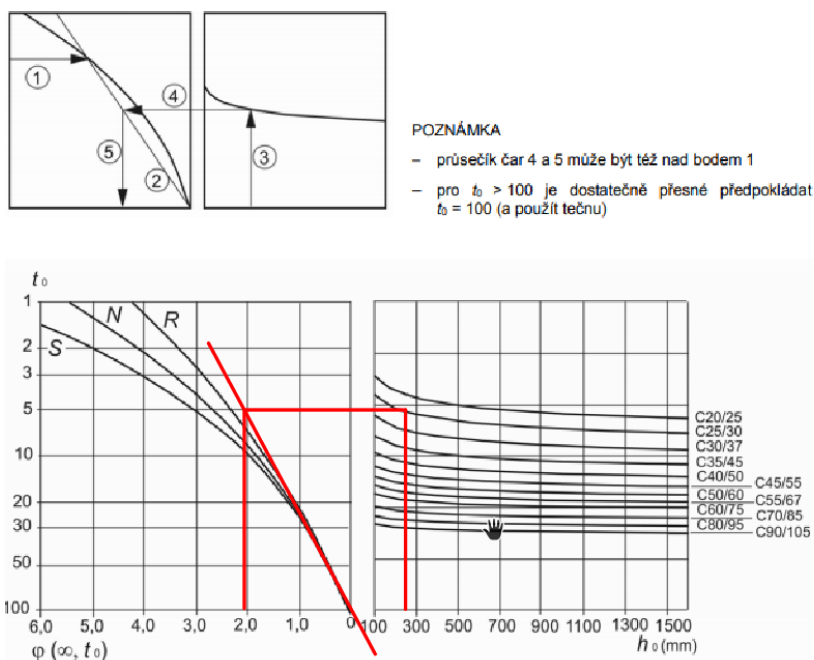
$$E_{c,eff} = \frac{E_{cm}}{1 + \varphi_{(\infty; t_0)}}$$

$$h_0 = \frac{2ac}{u} = \frac{2 \cdot 250 \cdot 1000}{2500} = 200 \text{ mm}$$

$\varphi_{(\infty; t_0)}$  – bylo stanoveno dle tabulek v normě ČSN EN 1992-1-1<sup>[5]</sup>, obrázek 3.1

$$\varphi_{(\infty; t_0)} = 2,1$$

$$E_{c,eff} = \frac{30,5}{1 + 2,1} = 9,83 \text{ GPa}$$

Obr. 44 - Grafické stanovení hodnoty  $\varphi(\infty; t_0)$ S trhlinami a s vlivem dotvarování v časovém intervalu

$$f_{kvazi}^{II} = \frac{p_{kvazi} \cdot L^4}{E_{ceff} I_{ci}^{II}} = \frac{17,86 \cdot 2^4}{8 \cdot 9,83 \cdot 10^6 \cdot 124,08 \cdot 10^{-6}} = 0,02928 \text{ m}$$

$$f_{kvazi} = \zeta \cdot f_{kvazi}^{II} + (1 + \zeta) f_{kvazi}^I = 0,81 \cdot 0,02928 + (1 - 0,81) \cdot 0,00175 = 0,024 \text{ m}$$

$$f_{lim I} = \frac{1}{400} 2L = 0,01 \text{ m}$$

$$f_{kvazi} = 0,024 \text{ m} \geq f_{lim I} = 0,01 \text{ m} \quad \rightarrow \text{nevyhovuje}$$

**4.5.1 Opatření pro snížení průhybu**

Z výpočtu mezního stavu použitelnosti – omezení průhybu vyplývá, že při dané míře kvazi stálého zatížení bude mít balkón nadlimitní průhybu. Z tohoto důvodu navrhuji balkóny vysadit pouze 1,5 m.

Rozdělovací součinitel

$$\zeta = 1 - \beta \left( \frac{M_{cr}}{M_{Ek}} \right)^2 = 1 - 0,5 \left( \frac{17,41}{18,10} \right)^2 = 0,53$$

**Výpočet průhybu – zohlednění dotvarování**Bez trhlin

$$f_{kvazi}^I = \frac{p_{kvazi} \cdot L^4}{8 E_{cm} I_{ci}^I} = \frac{17,95 \cdot 1,5^4}{8 \cdot 30,5 \cdot 10^6 \cdot 666,67 \cdot 10^{-6}} = 0,000558 \text{ m}$$

S trhlinami

$$f_{kvazi}^{II} = \frac{p_{kvazi} \cdot L^4}{E_{ceff} I_{ci}^{II}} = \frac{17,95 \cdot 1,5^4}{8 \cdot 9,83 \cdot 10^6 \cdot 124,08 \cdot 10^{-6}} = 0,0093 \text{ m}$$

$$f_{kvazi} = \zeta \cdot f_{kvazi}^{II} + (1 + \zeta) f_{kvazi}^I = 0,53 \cdot 0,0093 + (1 - 0,53) \cdot 0,000558 = 0,005191 \text{ m}$$

$$f_{lim I} = \frac{1}{400} 2L = 0,01 \text{ m}$$

$$f_{kvazi} = 0,005191 \text{ m} < f_{lim I} = 0,01 \text{ m} \quad \rightarrow \text{vyhovuje}$$

## 4.6 Návrh a posouzení průvlaků

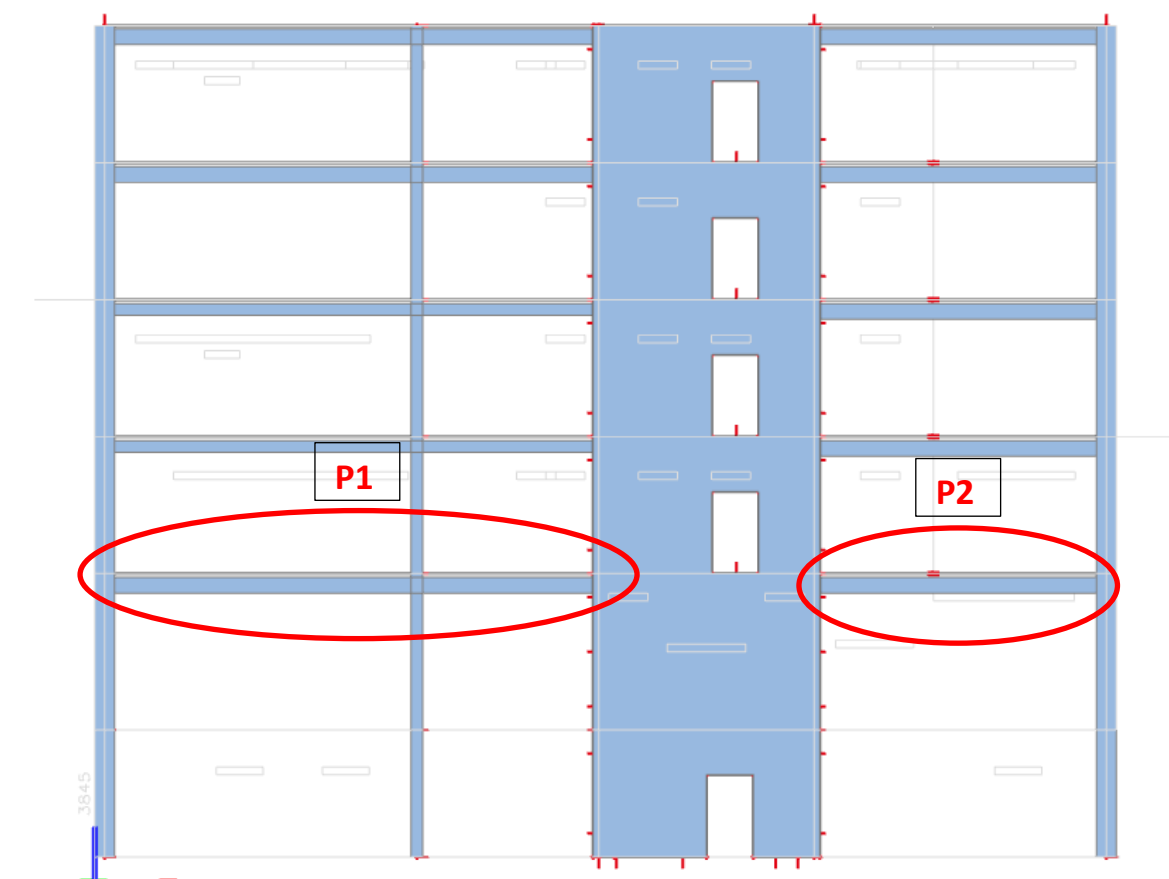
Návrh výztuže a posouzení mezního stavu únosnosti bude proveden pomocí programu SCIA Engineer 20.0, jehož prostřednictvím budou posouzeny dva průvlaky, dále označeny jako P1 a P2, které se v každém patře opakují se stejným zatížením, proto pro ně bude navržena stejná výztuž.

Následně bude provedena ruční kontrola vnitřních sil, ověření správnosti návrhu a omezení průhybu, a to pro jeden průvlak.

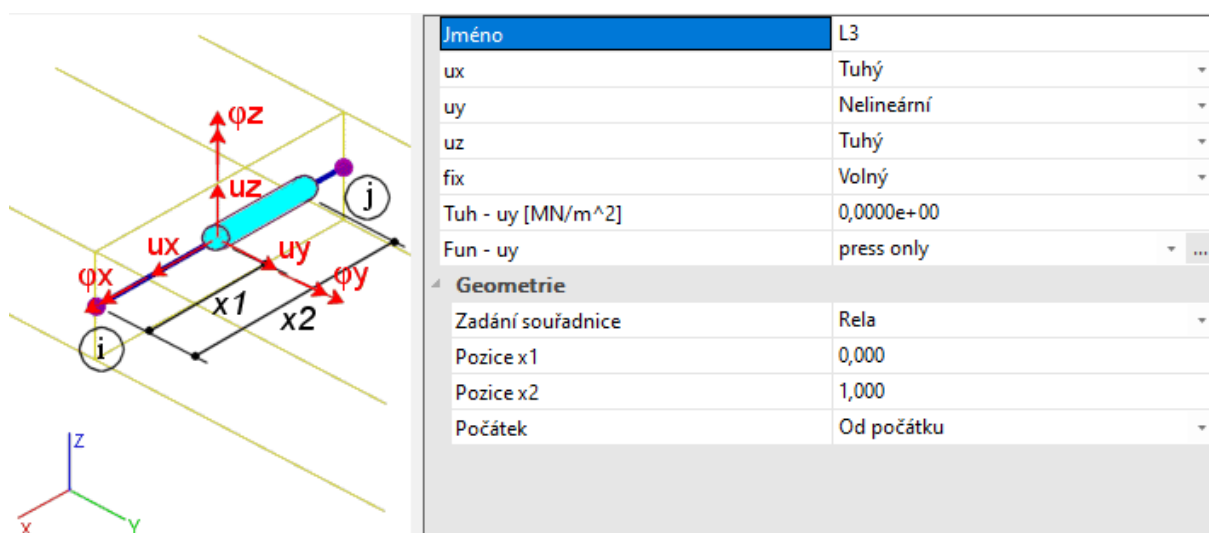
### 4.6.1 Nastavení vstupních dat

#### Zdivo

Pro co největší přiblížení se reálnému chování zdiva byl v patě stěny nad danými prvky přidán kloub s nelineární funkcí „press only”, která zabrání tahům v patě zdiva.



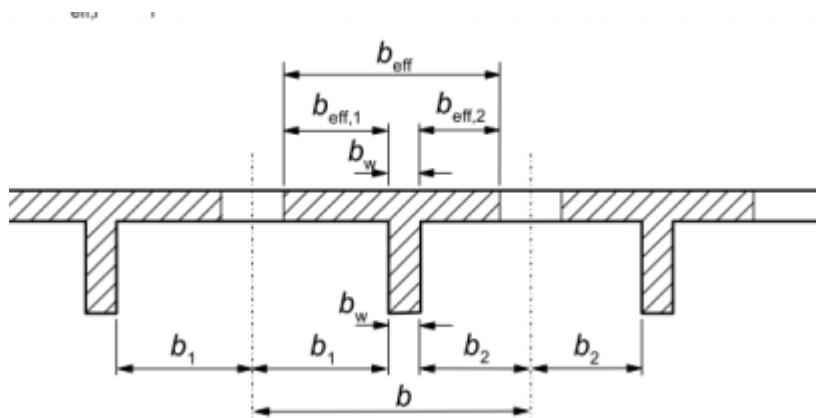
Obr. 45 – Polohy posuzovaných průvlaků v ŽB rámu



Obr. 46 - Nastavení kloubu na hraně plochy

Nastavení průřezu

## Určení efektivní šířky



Obr. 47 - Označení šířek

$$l_0 = 0,7 \cdot l_{eff} = 0,7 \cdot 6,97 = 4,91$$

$$b_l = 1687 \text{ mm}$$

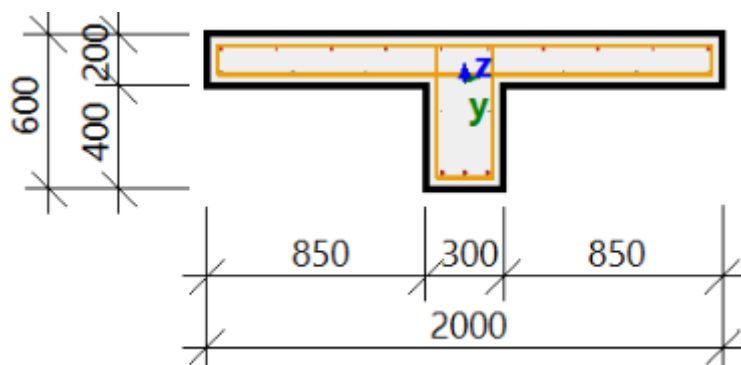
$$b_{eff} = \sum b_i + b_w$$

$$b_{eff1} = 0,2 \cdot b_l + 0,1 \cdot l_0 = 0,828 \text{ m} < 0,2 \cdot l_0 = 0,982 \text{ m}$$

$$b_{eff} = 2 \cdot 0,828 + 0,3 = 1,956 \text{ m}$$

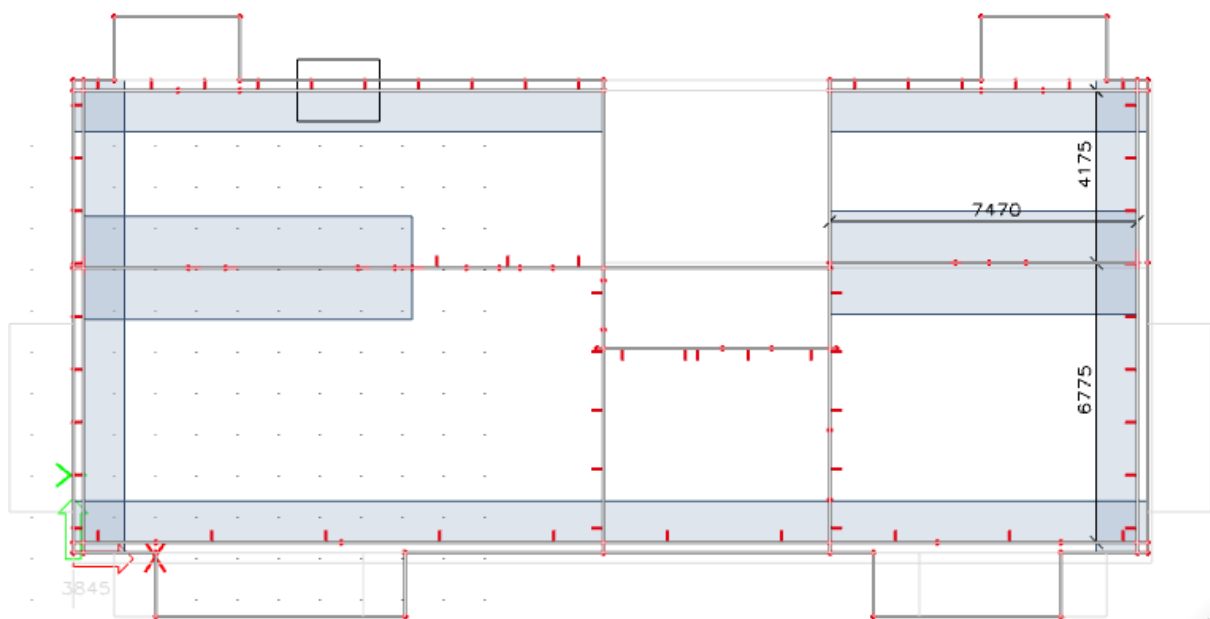
Efektivní šířka byla určena z kratší strany a zaokrouhlena na hodnotu 2 metry.

Navrhované průvlaky budou T-průřezu s šířkou horní hrany 2000 mm pro posudek a pro vnitřní síly zatěžovací šíře 4500 mm. Spodní hranol je vysoký 400 mm a široký 300 mm.



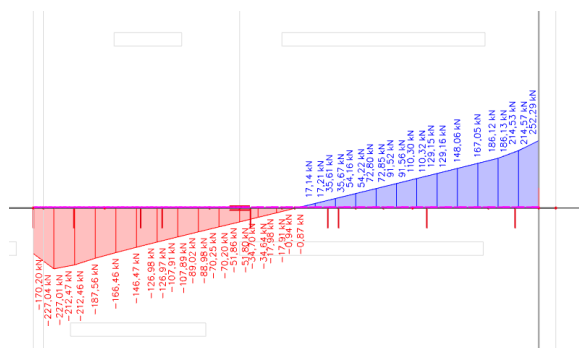
Obr. 48 - Rozměry průvlaku

#### 4.6.2 Návrh výztuže průvlaku P2 pomocí SCIA Engineer 20.0

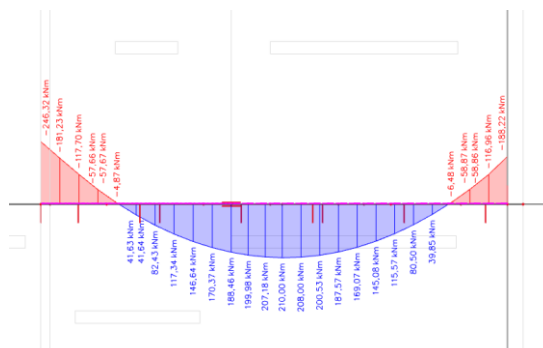


Obr. 49 - Půdorysné umístění a rozměry průvlaku a polí

Průběh ohybových momentů a posouvacích sil na průvlaku P2 budou sloužit pro porovnání s ručním výpočtem.



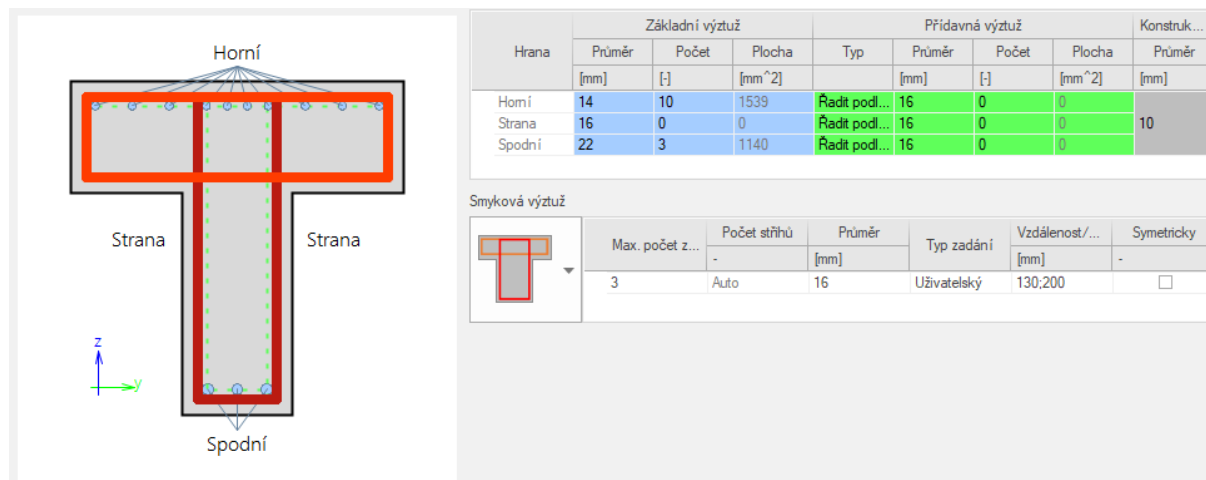
Obr. 50 - Průběh posouvajících sil



Obr. 51 - Průběh ohybových momentů

Nastavení vložek pro průvlak P2

Výztuž bude vložena podle nastavené šablony, jejíž finální podoba byla nastavena postupně iteračně, dokud nevyhověla všem kritériím. Následně po označení prvků program tuto výztuž vloží na skutečný prvek a dodá výztuž podle konstrukčních zásad.



Obr. 52 - Výsledný rastr výztuže

**4.6.3 Posouzení navržené výztuže průvlaku P2 pomocí SCIA Engineer 20.0**

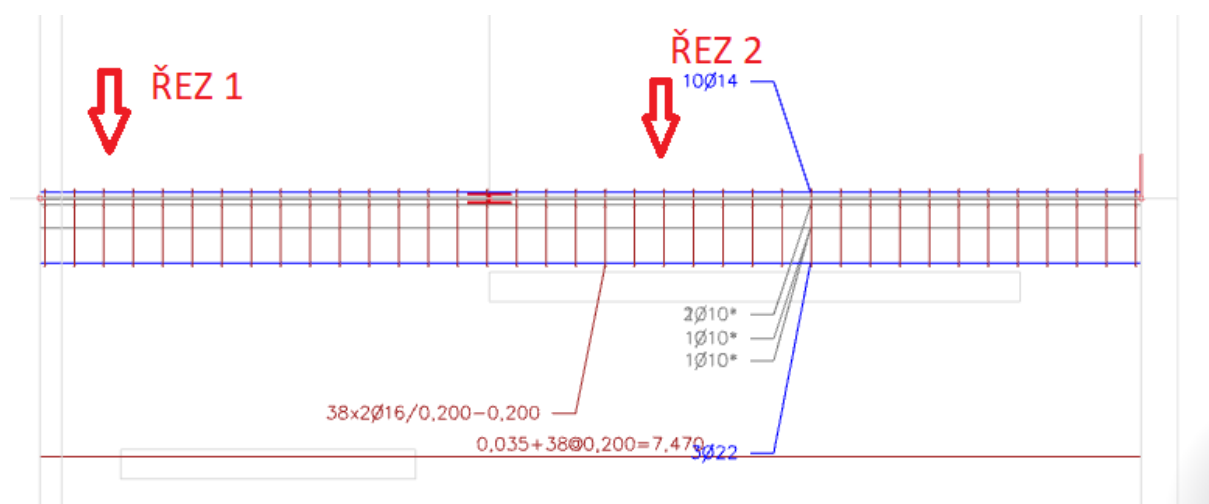
Pro posouzení v určitém řezu po vybrání určitého dílce použijeme v programu SCIA funkci Posudek řezu. Po zvolení konkrétního místa na prutu program vygeneruje jednotkové posudky, tzn. , že jednoduše všechny možné efekty vyvolané zatížením (E) vydělí maximální odolností konstrukce (R).

$E/R \leq 1 \rightarrow \text{OK}$  ... to znamená, že posudek vyhoví

$E/R > 1 \rightarrow \text{Nevyh.}$  ... to znamená, že posudek nevyhoví

Posudky budou provedeny ve dvou místech, a to v řezu u krajní podpory a v řezu uprostřed rozpětí průvlaku.





Obr. 53 - Výztuž v prvku a místa posudků v řezu

## Posudky řezu 1

| Řez SC1                     |                          | T g (600; 2000; 200; 300)   |  |
|-----------------------------|--------------------------|---|--|
| ČSN EN 1992-1-1/NA: 2011-07 |                          | Žebro B48 [dx = 7.17 m]   |  |
| Délka prvku: L = 7.47 m     |                          | <b>Beton: C25/30</b>  |  |
| Vzpěr y-y                   | $L_y = 9.54$ m (posuvný) | Bilineární pracovní diagram   |  |
| Vzpěr z-z                   | $L_z = 9.48$ m (posuvný) | Třída prostředí: XC3  |  |
|                             |                          | <b>Podélná výztuž: B 500B</b>   |  |
|                             |                          | Bilineární s nakloněnou horní větví                                   |  |
|                             |                          | 8φ10 mm + 10φ14 mm + 3φ22 mm ( $A_s = 3308$ mm <sup>2</sup> )         |  |
|                             |                          | $\rho_l = 0,636$ % (26 kg/m)  |  |
|                             |                          | <b>Smyková výztuž: B 500B</b>   |  |
|                             |                          | Bilineární s nakloněnou horní větví                                   |  |
|                             |                          | φ16/135 mm ( $n_s = 2$ ) ( $A_{sw} = 402$ mm <sup>2</sup> )           |  |
|                             |                          | $\rho_w = 0,425$ % (17.4 kg/m) ( $A_{swm} = 2211$ mm <sup>2</sup> /m) |  |
| <b>Krytí (třmínek)</b>      |                          | Horní: 35 mm  |  |
|                             |                          | Spodní: 35 mm   |  |
|                             |                          | Levý: 35 mm   |  |
|                             |                          | Pravý: 35 mm  |  |

Obr. 54 - Rozdělení a vlastnosti výztuže v řezu 1

Posouzení kapacity – odezva a diagram průvlaku P2 v řezu 1**Extrémní hodnoty napětí / přetvoření v komponentě**

| Typ komponenty | Vlákno / prut | $\epsilon$<br>[‰] | $\epsilon_{lim}$<br>[‰] | $\sigma$<br>[MPa] | $\sigma_{lim}$<br>[MPa] | Jed. pos. [-] | Stav |
|----------------|---------------|-------------------|-------------------------|-------------------|-------------------------|---------------|------|
| Beton v tlaku  | 7             | -0.383            | -3.5                    | -3.65             | -16.7                   | 0,22          | OK   |
| Beton v tahu   | 1             | 2.34              | 0                       | 0                 | 0                       | 0,00          | OK   |
| Výztuž v tlaku | 10            | -0.123            | -45                     | -24.5             | -466                    | 0,05          | OK   |
| Výztuž v tahu  | 13            | 2.06              | 45                      | 413               | 466                     | 0,89          | OK   |

Obr. 55 - Vyhodnocení odezvy

**Shrnutí posudku**

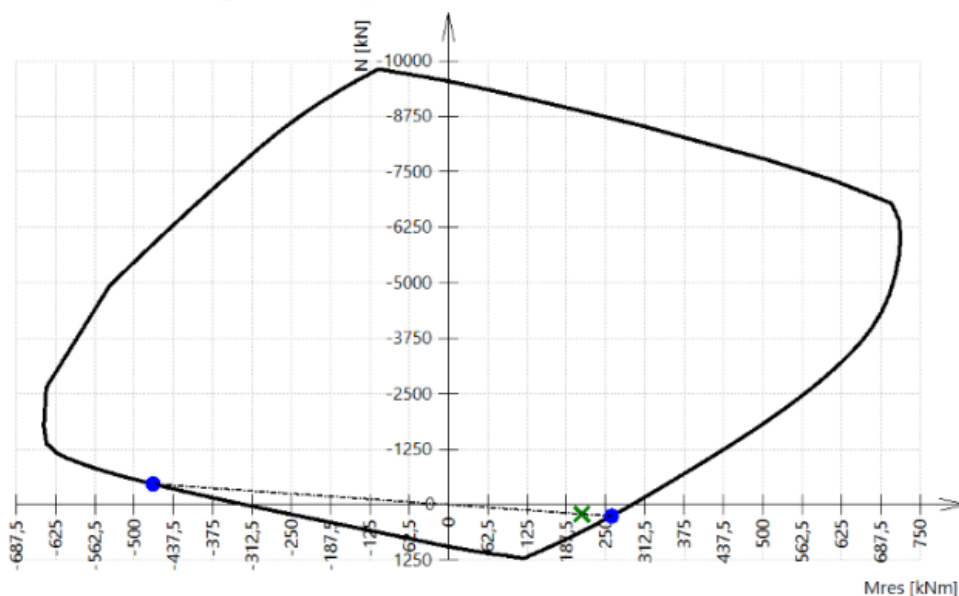
Síly:  $N_{Ed} = 210 \text{ kN}$   $M_{Edy} = 210 \text{ kNm}$   $M_{Edz} = -30.4 \text{ kNm}$

Odolnost:  $N_{Rd} = 257 \text{ kN}$   $M_{Rdy} = 257 \text{ kNm}$   $M_{Rdz} = -37 \text{ kNm}$

Výpočet jednotkového posudku.

$$UC = \frac{\sqrt{N_{Ed}^2 + M_{Edy}^2 + M_{Edz}^2}}{\sqrt{N_{Rd}^2 + M_{Rdy}^2 + M_{Rdz}^2}} = \frac{\sqrt{210^2 + 210^2 + (-30.4)^2}}{\sqrt{257^2 + 257^2 + (-37.2)^2}} = 0.818 \leq 1 \quad \text{OK}$$

Seznam varování, chyb a poznámek: N2/1.

**3D interakční diagram - svislý řez N-M<sub>res</sub>**

Obr. 56 - Interakční diagram

Posouzení smyk a kroucení průvlaku P2 v řezu 1**Síly**

Obsah kombinace: MSU-plnézatížení

 $N_{Ed} = 133 \text{ kN}$   $M_{Edy} = -243 \text{ kNm}$   $M_{Edz} = -70.5 \text{ kNm}$   $V_{Edy} = -7.09 \text{ kN}$   $V_{Edz} = -227 \text{ kN}$   $T_{Ed} = -40.8 \text{ kNm}$ 

Výslednice smykové síly

Rozdíl mezi úhly  $\alpha_M$  a  $\alpha_V$ 

$$V_{Ed} = \sqrt{V_{Edy}^2 + V_{Edz}^2} = \sqrt{(-7.09)^2 + (-227)^2} = 227 \text{ kN}$$

$$\alpha_{MV} = \text{abs}(\alpha_M - \alpha_V) = \text{abs}(73.5 - 88.2) = 14.7^\circ$$

**Shrnutí posudku** $d = 549 \text{ mm}$   $z = 485 \text{ mm}$   $b_w = 300 \text{ mm}$   $b_{w1} = 300 \text{ mm}$   $V_{Rdc} = 84.3 \text{ kN}$   $V_{Rds} = 514 \text{ kN}$   $V_{Edmax} = 742 \text{ kN}$   $V_{Rdmax} = 717 \text{ kN}$  $A_k = 89056 \text{ mm}^2$   $u_k = 1336 \text{ mm}$   $T_{Rdc} = 24.8 \text{ kNm}$   $T_{Rds} = 103 \text{ kNm}$   $T_{Rdmax} = 91.6 \text{ kNm}$ 

| Typ posudku                               | Síly      | Únosnosti | Jed. pos. [-] | Stav |
|---|-----------|-----------|---------------|------|
| Posudek smyku $V_y + V_z$                 | 227,1 kN  | 514,1 kN  | 0,44          | OK   |
| Posudek kroucení                          | -40,8 kNm | 91,6 kNm  | 0,58          | OK   |
| Posudek interakce $V_y + V_z + T$ (beton) |           |           | 0,76          | OK   |
| Posudek interakce $V_y + V_z + T$ (smyk)  | 349,6 MPa | 400,0 MPa | 0,87          | OK   |
| Shrnutí posudku                           |           |           | 0,87          | OK   |

Posouzení konstrukčních zásad podélné a smykové výztuže průvlaku P2 v řezu 1**Nosník - Konstrukční zásady pro podélnou výztuž**

| Konstrukční zásady                                     | Norma             | Jedn.              | Vyp. hodn. | Pož. hodnota | Jed. pos. [-] | Posouzení |
|--|-------------------|--------------------|------------|--------------|---------------|-----------|
| Minimální vzdálenost prutů výztuže                     | 8.2(2)            | [mm]               | 66         | 37           | 0.56          | OK        |
| Maximální vzdálenost prutů výztuže                     | Normově nezávislé | [mm]               | 242        | 350          | 0.69          | OK        |
| Minimální plocha tahové výztuže                        | 9.2.1.1(1)        | [mm <sup>2</sup> ] | 1539       | 215          | 0.14          | OK        |
| Maximální plocha výztuže                               | 9.2.1.1(3)        | [mm <sup>2</sup> ] | 3308       | 20800        | 0.16          | OK        |
| Maximální vzdálenost prutů podle požadavků na kroucení | 9.2.3(4)          | [mm]               | 242        | 0            | 0             | Vyp.      |

**Nosník - Konstrukční zásady pro třmínky**

| Konstrukční zásady                 | Norma    | Jedn.                | Vyp. hodn. | Pož. hodnota | Jed. pos. [-] | Posouzení |
|------------------------------------|----------|----------------------|------------|--------------|---------------|-----------|
| Min. průměr ohybů                  | 8.3(2)   | [mm]                 | 0          | 0            | 0             | Vyp.      |
| Max. podélná vzdálenost (smyk)     | 9.2.2(6) | [mm]                 | 181        | 397          | 0.46          | OK        |
| Max. podélná vzdálenost (kroucení) | 9.2.3(3) | [mm]                 | 181        | 0            | 0             | Vyp.      |
| Maximální příčná vzdálenost        | 9.2.2(8) | [mm]                 | 0          | 0            | 0             | Vyp.      |
| Min. procento smykové výztuže      | 9.2.2(5) | [*10 <sup>-3</sup> ] | 7.41       | 0.8          | 0.11          | OK        |
| Max. procento smykové výztuže      | 6.2.3(3) | [*10 <sup>-3</sup> ] | 7.41       | 11.5         | 0.64          | OK        |

**Posudky řezu 2**

Posouzení kapacity – odezva a diagram průvlaku P2 v řezu 2

**Extrémní hodnoty napětí / přetvoření v komponentě**

| Typ komponenty | Vlákno / prut | $\epsilon$<br>[‰] | $\epsilon_{lim}$<br>[‰] | $\sigma$<br>[MPa] | $\sigma_{lim}$<br>[MPa] | Jed. pos. [-] | Stav |
|----------------|---------------|-------------------|-------------------------|-------------------|-------------------------|---------------|------|
| Beton v tlaku  | 7             | -0.383            | -3.5                    | -3.65             | -16.7                   | 0,22          | OK   |
| Beton v tahu   | 1             | 2.34              | 0                       | 0                 | 0                       | 0,00          | OK   |
| Výztuž v tlaku | 10            | -0.123            | -45                     | -24.5             | -466                    | 0,05          | OK   |
| Výztuž v tahu  | 13            | 2.06              | 45                      | 413               | 466                     | 0,89          | OK   |

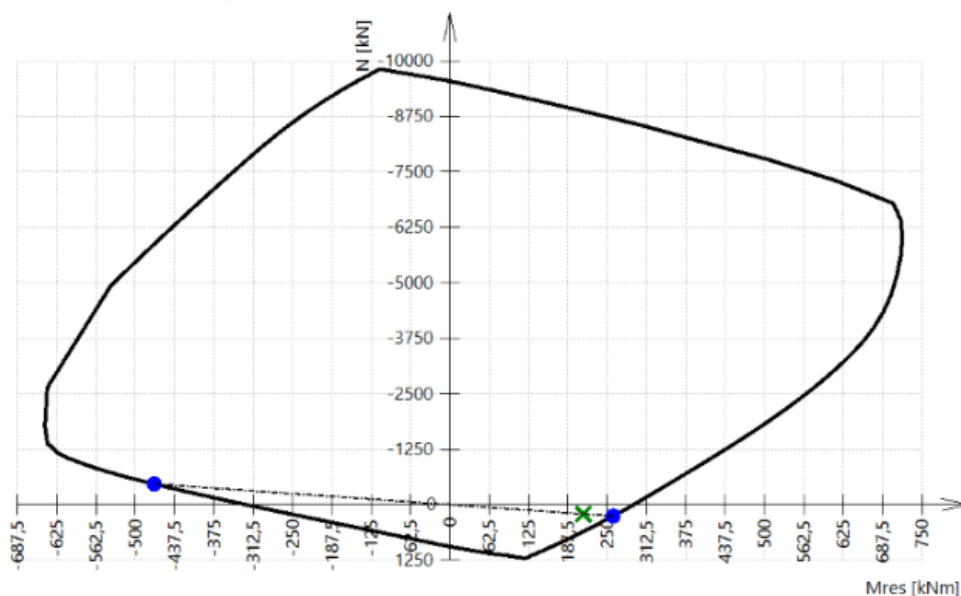
Obr. 57 - Vyhodnocení odezvy materiálu

**Shrnutí posudku**Síly:  $N_{Ed} = 210 \text{ kN}$   $M_{Edy} = 210 \text{ kNm}$   $M_{Edz} = -30.4 \text{ kNm}$ Odolnost:  $N_{Rd} = 257 \text{ kN}$   $M_{Rdy} = 257 \text{ kNm}$   $M_{Rdz} = -37 \text{ kNm}$ 

Výpočet jednotkového posudku.

$$UC = \frac{\sqrt{N_{Ed}^2 + M_{Edy}^2 + M_{Edz}^2}}{\sqrt{N_{Rd}^2 + M_{Rdy}^2 + M_{Rdz}^2}} = \frac{\sqrt{210^2 + 210^2 + (-30.4)^2}}{\sqrt{257^2 + 257^2 + (-37.2)^2}} = 0.818 \leq 1 \quad \text{OK}$$

Seznam varování, chyb a poznámek: N2/1.

**3D interakční diagram - svislý řez N-M<sub>res</sub>**

Obr. 58 - Vyhodnocení interakčního diagramu

Posouzení smyk a kroucení průvlaku P2 v řezu 2**Síly**

Obsah kombinace: MSU-plnézatížení

$$N_{Ed} = 210 \text{ kN} \quad M_{Edy} = 210 \text{ kNm} \quad M_{Edz} = -30.4 \text{ kNm} \quad V_{Edy} = -5.16 \text{ kN} \quad V_{Edz} = 17.2 \text{ kN} \quad T_{Ed} = 1.71 \text{ kNm}$$

Výslednice smykové síly

Rozdíl mezi úhly  $\alpha_M$  a  $\alpha_V$ 

$$V_{Ed} = \sqrt{V_{Edy}^2 + V_{Edz}^2} = \sqrt{(-5.16)^2 + 17.2^2} = 18 \text{ kN}$$

$$\alpha_{MV} = \text{abs}(\alpha_M - \alpha_V) = \text{abs}(90.7 - 107) = 16^\circ$$

**Shrnutí posudku**

$$d = 803 \text{ mm} \quad z = 522 \text{ mm} \quad b_w = 313 \text{ mm} \quad b_{w1} = 313 \text{ mm} \quad V_{Rdc} = 86.4 \text{ kN} \quad V_{Rds} = 500 \text{ kN} \quad V_{Edmax} = 1131 \text{ kN} \quad V_{Rdmax} = 805 \text{ kN}$$

$$A_k = 89056 \text{ mm}^2 \quad u_k = 1336 \text{ mm} \quad T_{Rdc} = 24.8 \text{ kNm} \quad T_{Rds} = 92.8 \text{ kNm} \quad T_{Rdmax} = 91.6 \text{ kNm}$$

| Typ posudku                       | Síly     | Únosnosti | Jed. pos. [-] | Stav |
|-----------------------------------|----------|-----------|---------------|------|
| Posudek smyku Vy+Vz               | 18,0 kN  | 86,4 kN   | 0,21          | OK   |
| Posudek kroucení                  | 1,7 kNm  | 24,8 kNm  | 0,07          | OK   |
| Posudek interakce Vy+Vz+T (beton) |          |           | 0,04          | OK   |
| Posudek interakce Vy+Vz+T (smyk)  | 22,4 MPa | 400,0 MPa | 0,00          | OK   |
| Shrnutí posudku                   |          |           | 0,21          | OK   |

Posouzení konstrukčních zásad podélné a smykové výztuže průvlaku P2 v řezu 2**Nosník - Konstrukční zásady pro podélnou výztuž**

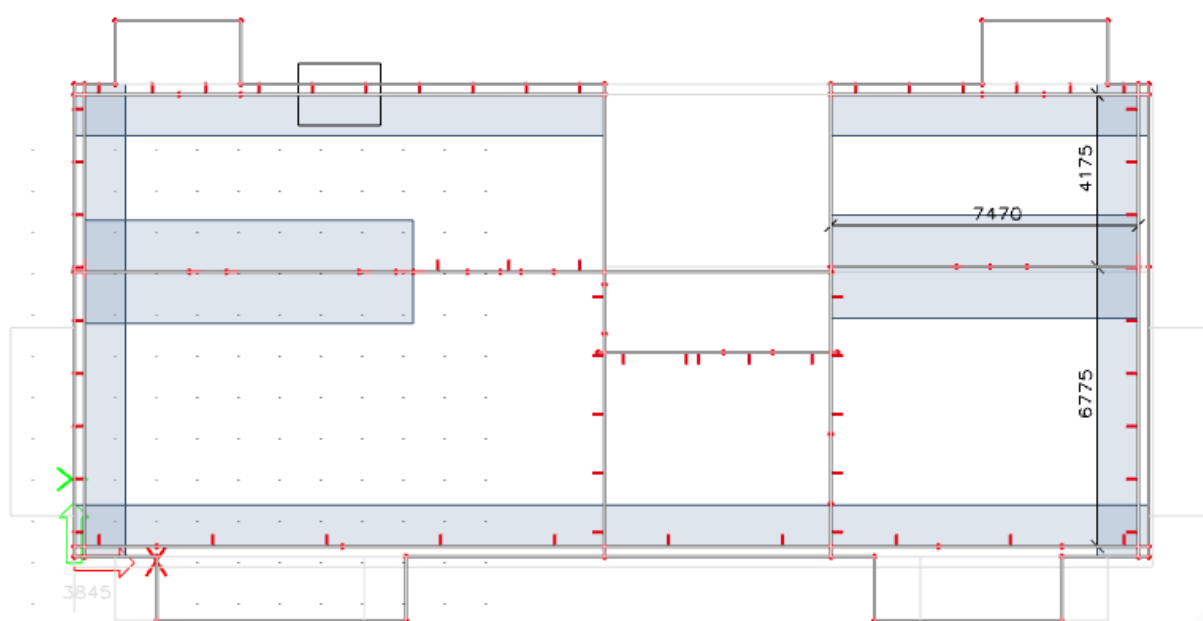
| Konstrukční zásady                                     | Norma             | Jedn.              | Vyp. hodn. | Pož. hodnota | Jed. pos. [-] | Posouzení |
|--|-------------------|--------------------|------------|--------------|---------------|-----------|
| Minimální vzdálenost prutů výztuže                     | 8.2(2)            | [mm]               | 66         | 37           | 0.56          | OK        |
| Maximální vzdálenost prutů výztuže                     | Normově nezávislé | [mm]               | 242        | 350          | 0.69          | OK        |
| Minimální plocha tahové výztuže                        | 9.2.1.1(1)        | [mm <sup>2</sup> ] | 1140       | 327          | 0.29          | OK        |
| Maximální plocha výztuže                               | 9.2.1.1(3)        | [mm <sup>2</sup> ] | 3308       | 20800        | 0.16          | OK        |
| Maximální vzdálenost prutů podle požadavků na kroucení | 9.2.3(4)          | [mm]               | 242        | 350          | 0.69          | OK        |

**Nosník - Konstrukční zásady pro třmínky**

| Konstrukční zásady                 | Norma    | Jedn.                | Vyp. hodn. | Pož. hodnota | Jed. pos. [-] | Posouzení |
|------------------------------------|----------|----------------------|------------|--------------|---------------|-----------|
| Min. průměr ohybů                  | 8.3(2)   | [mm]                 | 0          | 0            | 0             | Vyp.      |
| Max. podélná vzdálenost (smyk)     | 9.2.2(6) | [mm]                 | 200        | 400          | 0.5           | OK        |
| Max. podélná vzdálenost (kroucení) | 9.2.3(3) | [mm]                 | 200        | 200          | 1             | OK        |
| Maximální příčná vzdálenost        | 9.2.2(8) | [mm]                 | 0          | 0            | 0             | Vyp.      |
| Min. procento smykové výztuže      | 9.2.2(5) | [*10 <sup>-3</sup> ] | 6.42       | 0.8          | 0.12          | OK        |
| Max. procento smykové výztuže      | 6.2.3(3) | [*10 <sup>-3</sup> ] | 6.42       | 11.5         | 0.56          | OK        |

**4.6.4 Ověření výsledků ručním výpočtem průvlaku P2**

Základní rozměry pro výpočet zatěžovací šíře a efektivní délky.



Obr. 49 - Půdorysné umístění a rozměry průvlaku a polí

Vnitřní síly

$$M_{tot} = \frac{1}{8} \Sigma(qd + gd) \cdot b \cdot L_{ef}^2$$

$$V_{ed} = \frac{1}{2} \Sigma(qd + gd) \cdot b \cdot L_{ef}$$

$$b = b_1 + b_2$$

$$b_1 = \frac{4175}{2} - 250 - 150 = 1687 \text{ mm}$$

$$b_2 = \frac{6775}{2} - 250 - 150 = 2988 \text{ mm}$$

$$b = 4675 \text{ mm}$$

$$L_{ef} = 7,47 - 2 \cdot 0,25 = 6,97 \text{ m}$$

250; 150 ... odečet k líci zdi

Stálé zatížení od podlahy, stropu, půvľaku a stěny

Strop

$$gd = 1,35 \cdot 0,2 \cdot 25 = 6,75 \text{ kN/m}^2$$

Podlaha

$$gd = 2,3 \cdot 1,35 = 3,1 \text{ kN/m}^2$$

Stěna

$$gd = 0,3 \cdot 6,7 \cdot 3,6 \cdot 0,7 \cdot 1,35 = 6,83 \text{ kN/m}$$

0,7 ..... zohľadnění otvoru ve zdi

Průvľak

$$gd = 0,3 \cdot 0,4 \cdot 25 \cdot 1,35 = 4,05 \text{ kN/m}$$

Proměnná užitná zatížení

$$gd = 2 \cdot 1,5 = 3 \text{ kN/m}^2$$

$$M_{tot} = \frac{1}{8} [(6,75 + 3,1 + 3) \cdot 4,675 + 6,83 + 4,05] \cdot 6,97^2 = 430,87 \text{ kNm}$$

$$V_{ed} = \frac{1}{2} [(6,75 + 3,1 + 3) \cdot 4,675 + 6,83 + 4,05] \cdot 6,97 = 247,3 \text{ kN}$$



$$\begin{aligned}
 M_{ed, \text{ pole}} &= 0,35 \cdot M_{tot} = 150,8 \text{ kNm} & \dots\dots \text{srovnání SCIA } M_{ed, \text{ pole}} &= 210,0 \text{ kNm} \\
 M_{ed, \text{ popodra}} &= 0,65 \cdot M_{tot} = 280,06 \text{ kNm} & \dots\dots \text{srovnání SCIA } M_{ed, \text{ popodra}} &= 246,32 \text{ kNm} \\
 V_{ed} &= 247,3 \text{ kN} & \dots\dots \text{srovnání SCIA } V_{ed} &= 227,04 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

#### 4.6.5 Posouzení výztuže ručním výpočtem

Posouzení výztuže nad podporou

Návrh 10 x Ø 16 m

$$A_{s, \text{ prov}} = \frac{\pi \cdot \emptyset^2}{4} \cdot 4 = \frac{\pi \cdot 0,014^2}{4} \cdot 10 = 0,001539 \text{ m}^2$$

$$d = h - c - \frac{\emptyset}{2} - \text{třmínky} = 600 - 35 - \frac{14}{2} - 16 = 542 \text{ mm}$$

$$0,8 \cdot x \cdot b \cdot f_{cd} = f_{yd} \cdot A_{sd}$$

$$x = \frac{f_{yd} \cdot A_{s, \text{ prov}}}{f_{cd} \cdot b \cdot 0,8} = \frac{434,78 \cdot 10^6 \cdot 15,39 \cdot 10^{-4}}{16,67 \cdot 10^6 \cdot 0,3 \cdot 0,8} = 0,167 \text{ m}$$

$$z = d - 0,8x \cdot \frac{1}{2} = 0,542 - 0,4 \cdot 0,167 = 0,475 \text{ m}$$

$$M_{rd} = F_{sd} \cdot z = f_{yd} \cdot A_{s, \text{ prov}} \cdot z = 434,78 \cdot 10^6 \cdot 15,39 \cdot 10^{-4} \cdot 0,475 = 318,129 \text{ kNm}$$

$$M_{rd} = 318,29 > M_{Ed} = 280,06 \text{ kNm} \quad \rightarrow \text{vyhoví}$$

Využití výztuže

$$\frac{x}{d} \leq \frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} + \varepsilon_{yd}}$$

$$\frac{x}{d} = \frac{0,22}{0,54} = 0,40$$

$$\frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} + \varepsilon_{yd}} = \frac{3,5}{3,5 + 2,17} = 0,62$$

$$0,40 < 0,62$$

$\rightarrow$  výztuž je plně využita

**Posouzení výztuže v poli**Návrh 3 x Ø 22 mm

$$A_{s,prov} = \frac{\pi \cdot \emptyset^2}{4} \cdot 4 = \frac{\pi \cdot 0,022^2}{4} \cdot 3 = 0,00114 \text{ m}^2$$

$$d = h - c - \frac{\emptyset}{2} - \text{trmínky} = 600 - 35 - 16 - \frac{22}{2} = 538 \text{ mm}$$

$$x = \frac{f_{yd} \cdot A_{s,prov}}{f_{cd} \cdot b \cdot 0,8} = \frac{434,78 \cdot 10^6 \cdot 11,4 \cdot 10^{-4}}{16,67 \cdot 10^6 \cdot 0,8 \cdot 2} = 0,0186 \text{ m}$$

$$z = d - 0,8x \cdot \frac{1}{2} = 0,538 - 0,4 \cdot 0,0186 = 0,53 \text{ m}$$

$$M_{rd} = f_{yd} \cdot A_{s,prov} \cdot z = 434,78 \cdot 10^6 \cdot 11,4 \cdot 10^{-4} \cdot 0,53 = 262,82 \text{ kNm}$$

$$M_{rd} = 267,64 \text{ kNm} > M_{Ed} = 150,8 \text{ kNm} \rightarrow \text{vyhoví}$$

**Konstrukční zásady****Nad podporou**

$$A_{s,prov} = 15,39 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \rightarrow 10 \times 14 \text{ mm}$$

Min světlá vzálenost výztuže

$$s \geq \max \{1,2 \cdot \emptyset, dg + 5; 20\} = \max \{1,2 \cdot 16; 16 + 5; 20\} = 21 \text{ mm}$$

$$s_{prov} = 186 \text{ mm} \rightarrow \text{vyhoví}$$

Minimální plochá tažené výztuže

$$A_{s,min} = 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b \cdot d = 0,26 \cdot \frac{2,6}{500} \cdot 2 \cdot 0,542 = 14,65 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$= 0,0013 \cdot b \cdot d = 0,0013 \cdot 0,3 \cdot 0,4 + 0,0013 \cdot 2 \cdot 0,2 = 6,76 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{s,prov} = 15,39 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 > A_{s,min} = 14,65 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \rightarrow \text{vyhoví}$$

Maximální plocha výztuže

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot 0,3 \cdot 0,4 + 0,04 \cdot 0,2 \cdot 2 = 208 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$12,5 \cdot 10^{-4} < 208 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \rightarrow \text{vyhoví}$$

**V poli**

$$A_{s,prov} = 11,4 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \rightarrow 3 \times 22 \text{ mm}$$

$$s \geq \max \{1,2 \cdot \emptyset, dg + 5; 20\} = \max \{1,2 \cdot 25; 16 + 5; 20\} = 30 \text{ mm}$$

$$s_{prov} = 66 \text{ mm} \rightarrow \text{vyhoví}$$

$$A_{s,min} = 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b \cdot d = 0,26 \cdot \frac{2,6}{500} \cdot 0,3 \cdot 0,538 = 2,18 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$> 0,0013 \cdot b \cdot d = 0,0013 \cdot 0,3 \cdot 0,4 + 0,0013 \cdot 2 \cdot 0,2 = 6,76 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{s,prov} = 11,4 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 > A_{s,min} = 6,76 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \rightarrow \text{vyhoví}$$

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot 0,3 \cdot 0,4 + 0,04 \cdot 0,2 \cdot 2 = 208 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{s,prov} = 11,4 \cdot 10^{-4} < 208 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

→ vyhoví

**Posouzení smykové výztuže****Kontrola únosnosti bez smykové výztuže**

$$V_{Rd,c} = \left[ C_{rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_i \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} \right] \cdot b_w \cdot d$$

$$\rho_i = \frac{A_{st}}{b_w \cdot d} = \frac{15,39}{0,3 \cdot 0,54} = 0,0095 \leq 0,02$$

$A_{st}$  = plocha horní výztuže

$$C_{rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c} = 0,12$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{542}} = 1,6 \leq 2$$

$$V_{Rd,c} = \left[ 0,12 \cdot 1,6 \cdot (100 \cdot 0,0095 \cdot 25)^{\frac{1}{3}} \right] \cdot 0,3 \cdot 0,54 =$$

$$V_{Rd,c} = 89,31 < V_{ED} = 243,3 \text{ kN} \rightarrow \text{nevyhovuje, nutno navrhnout smykovou výztuž}$$

**Únosnost tlačných diagonál**

Beton C25/30

$$f_{cd} = 16,67 \text{ MPa}$$

$$f_{ck} = 25 \text{ MPa}$$

Ocel B500

$$f_{yd} = 434,78 \text{ MPa}$$

$$V_{Rd,max} = b_w \cdot z \cdot v \cdot f_{cd} \cdot \left( \frac{(\cotg \theta + \cotg \alpha)}{1 + \cotg^2 \theta} \right)$$

$$V_{Rd,max} = 0,3 \cdot 0,475 \cdot 0,567 \cdot 16,67 \cdot 10^6 \cdot \left( \frac{2,37+1}{1+5,65} \right) = 682,56 \text{ kN}$$

$$v = 0,63 \cdot \left( 1 - \frac{25}{250} \right) = 0,567$$

$$\theta \text{ (zvoleno)} = 22,8^\circ \rightarrow \cotg \theta = 2,37$$

$$\alpha \text{ (zvoleno)} = 45^\circ \rightarrow \cotg \alpha = 1$$

$$V_{Rd,max} = 476,51 \text{ kN} > V_{Ed,max} = 243,3 \text{ kN}$$

→ vyhoví

**Posouzení nad podporou**

$$V_{Rd,max} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{ywd} \cdot z \cdot \cotg \theta$$

$$A_{sw} = \emptyset 16 = 2,01 \cdot 10^{-4}$$

$$s = 200 \text{ mm}$$

**Posouzení**

$$V_{rd,s} = \frac{2,01 \cdot 10^{-4}}{0,2} \cdot 434,78 \cdot 10^6 \cdot 0,475 \cdot 2,37 = 491 \text{ kN}$$

$$V_{rd,s} = 491 \text{ kN} > V_{ed} = 247,6 \text{ kN}$$

→ vyhoví

**4.6.6 Omezení průhybu**Rozpětí pole

$$l_{eff} = 6970 \text{ mm}$$

Účinná výška průřezu

$$d_{dolní} = 0,538 \text{ m}$$

$$d_{horní} = 0,542 \text{ m}$$

Referenční stupeň vyztužení

$$\rho_0 = 10^{-3} \cdot \sqrt{f_{ck}} = 0,001 \cdot \sqrt{25} = 0,005$$

Stupeň vyztužení tahovou výztuží

$$\rho = \frac{A_{s1}}{b \cdot d} = \frac{0,00114}{0,3 \cdot 0,538} = 0,007 \quad \rho_0 < \rho \rightarrow \text{udává vzorec}$$

Stupeň vyztužení tlačnou výztuží

$$\rho^l = \frac{A_{s2}}{b \cdot d} = \frac{0,001539}{2 \cdot 0,054} = 0,0014$$

Součinitel nosného systému

$$K = 1,3$$

$$\frac{l}{d} = 12,95$$

$$\left(\frac{l}{d}\right)_{mezní} = K \cdot \left[ 11 + 1,5 \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot \frac{\rho_0}{\rho - \rho^l} + \frac{1}{12} \sqrt{f_{ck}} \cdot \sqrt{\frac{\rho^l}{\rho_0}} \right]$$

$$\left(\frac{l}{d}\right)_{mezní} = 1,3 \cdot \left[ 11 + 1,5 \cdot \sqrt{25} \cdot \frac{0,005}{0,007 - 0,0014} + \frac{1}{12} \sqrt{25} \cdot \sqrt{\frac{0,0014}{0,007}} \right] = 23,24$$

$$\frac{l}{d} = 12,95 < \left(\frac{l}{d}\right)_{mezní} = 23,24 \quad \rightarrow \text{vyhoví}$$

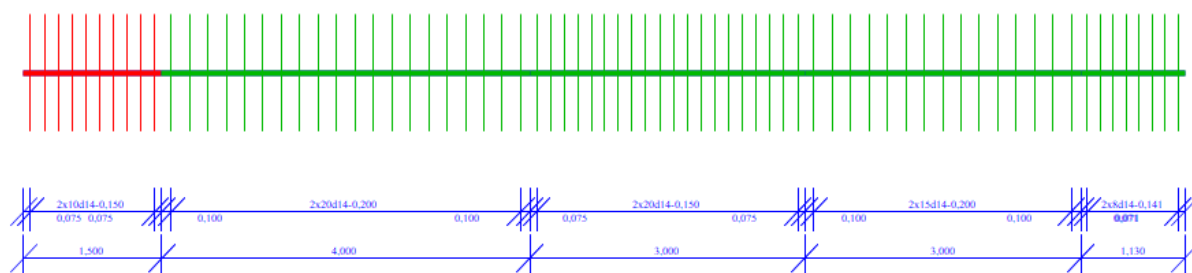
**Závěr kontroly ručním výpočtem**

Po ověření ručním výpočtem výztuž vyhoví tak, jak ji program navrhl.

**4.6.7 Návrh výztuže průvlaku P1 pomocí SCIA Engineer 20.0**

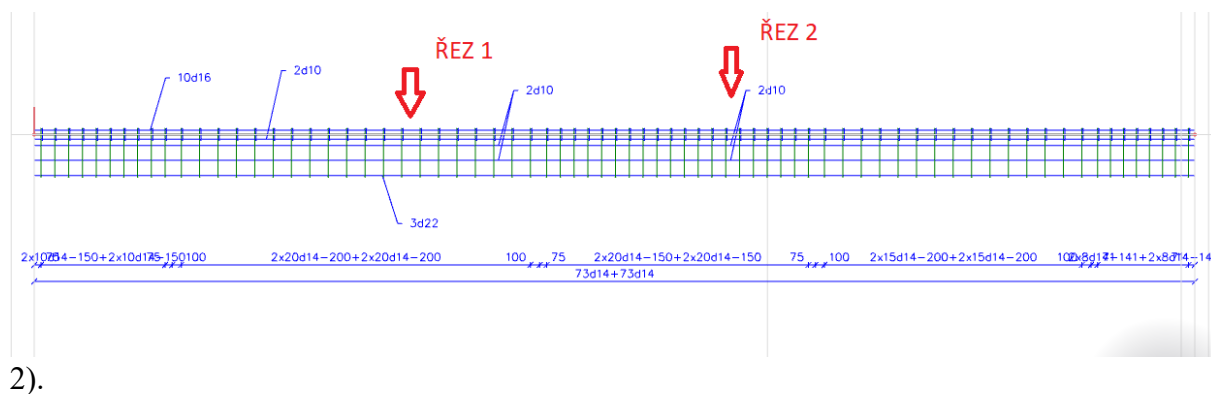
Celý návrh a posouzení mezního stavu únosnosti bude proveden dále jen v programu SCIA Engineer 20.0.

Výztuž v tomto případě nebyla vkládána pomocí předdefinované šablony, ale každá z vložek zvlášť. Bylo to způsobeno zejména třmínky, které bylo potřeba rozdělit ručně do pěti oblastí s různými roztečemi, což šablona neumožňuje.



Obr. 59 - Rozdělení třmínků v oblastech s různými roztečemi

Navržená výztuž bude opět posuzovaná ve dvou nejvíce kritických řezech, a to uprostřed delšího rozpětí (řez 1) a nad střední podporou s nejvyšším nadpodporovým momentem (řez



2).

Obr. 60 - Rozdělení výztuže v prvku a označení posuzovaných míst (řezů)

**4.6.8 Posouzení navržené výztuže průvlaku P1 pomocí SCIA Engineer 20.0****Posouzení v řezu 1**Posouzení kapacity - odezva a diagram průvlaku P1 v řezu 1**Extrémní hodnoty napětí / přetvoření v komponentě**

| Typ komponenty | Vlákno /<br>prut | $\epsilon$<br>[‰] | $\epsilon_{lim}$<br>[‰] | $\sigma$<br>[MPa] | $\sigma_{lim}$<br>[MPa] | Jed. pos.[-] | Stav |
|----------------|------------------|-------------------|-------------------------|-------------------|-------------------------|--------------|------|
| Beton v tlaku  | 5                | -0.643            | -3.5                    | -6.12             | -16.7                   | 0,37         | OK   |
| Beton v tahu   | 11               | 4.88              | 0                       | 0                 | 0                       | 0,00         | OK   |
| Výztuž v tlaku | 1                | -0.167            | -45                     | -33.4             | -466                    | 0,07         | OK   |
| Výztuž v tahu  | 13               | 4.38              | 45                      | 436               | 466                     | 0,94         | OK   |

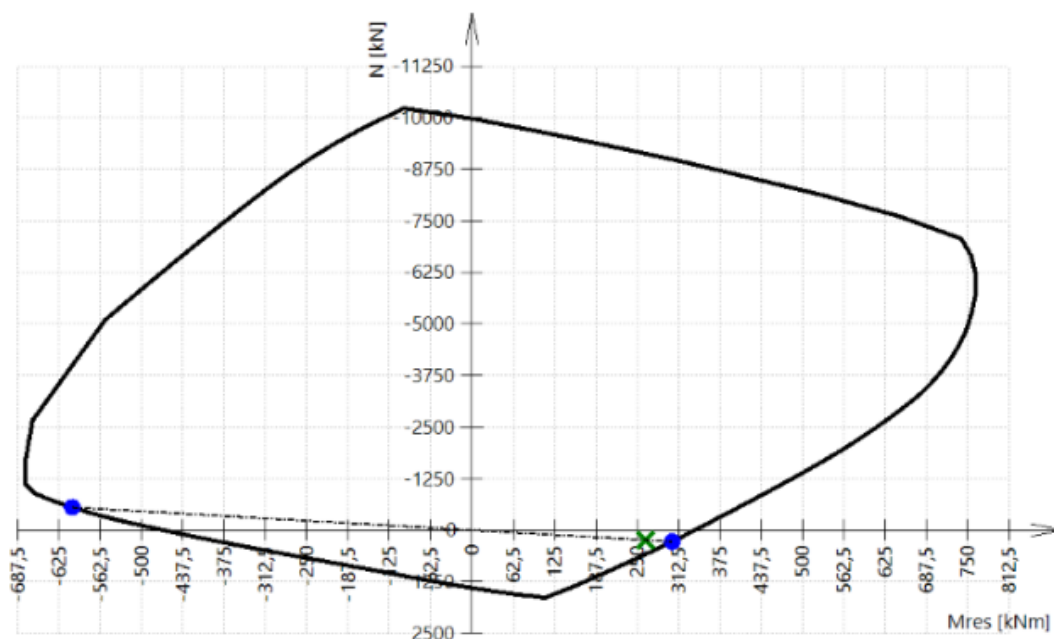
*Obr. 61 - Posouzení kapacity materiálu*

**Shrnutí posudku**Síly:  $N_{Ed} = 241 \text{ kN}$   $M_{Edy} = 260 \text{ kNm}$   $M_{Edz} = 37.4 \text{ kNm}$ Odolnost:  $N_{Rd} = 277 \text{ kN}$   $M_{Rdy} = 300 \text{ kNm}$   $M_{Rdz} = 43 \text{ kNm}$ 

Výpočet jednotkového posudku.

$$UC = \frac{\sqrt{N_{Ed}^2 + M_{Edy}^2 + M_{Edz}^2}}{\sqrt{N_{Rd}^2 + M_{Rdy}^2 + M_{Rdz}^2}} = \frac{\sqrt{241^2 + 260^2 + 37.4^2}}{\sqrt{277^2 + 300^2 + 43.1^2}} = 0.867 \leq 1 \quad \text{OK}$$

Seznam varování, chyb a poznámek: N2/1.

**3D interakční diagram - svislý řez N-M<sub>res</sub>**

Obr. 62 - interakční diagram

Posouzení smyku a kroucení průvlaku P1 v řezu 1



**Síly**

Obsah kombinace: MSU-plnézatížení

 $N_{Ed} = 241 \text{ kN}$   $M_{Edy} = 260 \text{ kNm}$   $M_{Edz} = 37.4 \text{ kNm}$   $V_{Edy} = -1.46 \text{ kN}$   $V_{Edz} = -4.78 \text{ kN}$   $T_{Ed} = -7.77 \text{ kNm}$ 

Výslednice smykové síly

Rozdíl mezi úhly  $\alpha_M$  a  $\alpha_V$ 

$$V_{Ed} = \sqrt{V_{Edy}^2 + V_{Edz}^2} = \sqrt{(-1.46)^2 + (-4.78)^2} = 5 \text{ kN}$$

$$\alpha_{MV} = \text{abs}(\alpha_M - \alpha_V) = \text{abs}(89.6 - 73.1) = 16.5^\circ$$

**Shrnutí posudku** $d = 760 \text{ mm}$   $z = 471 \text{ mm}$   $b_w = 314 \text{ mm}$   $b_{w1} = 363 \text{ mm}$   $V_{Rdc} = 94.5 \text{ kN}$   $V_{Rds} = 692 \text{ kN}$   $V_{Edmax} = 1241 \text{ kN}$   $V_{Rdmax} = 842 \text{ kN}$  $A_k = 100000 \text{ mm}^2$   $u_k = 1400 \text{ mm}$   $T_{Rdc} = 24 \text{ kNm}$   $T_{Rds} = 79.8 \text{ kNm}$   $T_{Rdmax} = 88.6 \text{ kNm}$ 

| Typ posudku                               | Síly     | Únosnosti | Jed. pos.[-] | Stav |
|---|----------|-----------|--------------|------|
| Posudek smyku $V_y + V_z$                 | 5,0 kN   | 94,5 kN   | 0,05         | OK   |
| Posudek kroucení                          | -7,8 kNm | 24,0 kNm  | 0,32         | OK   |
| Posudek interakce $V_y + V_z + T$ (beton) |          |           | 0,09         | OK   |
| Posudek interakce $V_y + V_z + T$ (smyk)  | 45,2 MPa | 400,0 MPa | 0,00         | OK   |
| Shrnutí posudku                           |          |           | 0,32         | OK   |

*Obr. 63 - Vyhodnocení posudku – smyk a kroucení*

Konstrukční zásady pro podélnou a smykovou výztuž průvlaku P1 v řezu 1**Nosník - Konstrukční zásady pro podélnou výztuž**

| Konstrukční zásady                                     | Norma             | Jedn.              | Vyp. hodn. | Pož. hodnota | Jed. pos. [-] | Posouzení |
|--|-------------------|--------------------|------------|--------------|---------------|-----------|
| Minimální vzdálenost prutů výztuže                     | 8.2(2)            | [mm]               | 70         | 37           | 0.53          | OK        |
| Maximální vzdálenost prutů výztuže                     | Normově nezávislé | [mm]               | 209        | 350          | 0.6           | OK        |
| Minimální plocha tahové výztuže                        | 9.2.1.1(1)        | [mm <sup>2</sup> ] | 1612       | 322          | 0.2           | OK        |
| Maximální plocha výztuže                               | 9.2.1.1(3)        | [mm <sup>2</sup> ] | 3622       | 20800        | 0.17          | OK        |
| Maximální vzdálenost prutů podle požadavků na kroucení | 9.2.3(4)          | [mm]               | 209        | 0            | 0             | Vyp.      |

**Nosník - Konstrukční zásady pro třmínky**

| Konstrukční zásady                 | Norma    | Jedn.                | Vyp. hodn. | Pož. hodnota | Jed. pos. [-] | Posouzení |
|------------------------------------|----------|----------------------|------------|--------------|---------------|-----------|
| Min. průměr ohybů                  | 8.3(2)   | [mm]                 | 0          | 0            | 0             | Vyp.      |
| Max. podélná vzdálenost (smyk)     | 9.2.2(6) | [mm]                 | 200        | 400          | 0.5           | OK        |
| Max. podélná vzdálenost (kroucení) | 9.2.3(3) | [mm]                 | 200        | 0            | 0             | Vyp.      |
| Maximální příčná vzdálenost        | 9.2.2(8) | [mm]                 | 0          | 0            | 0             | Vyp.      |
| Min. procento smykové výztuže      | 9.2.2(5) | [*10 <sup>-3</sup> ] | 9.82       | 0.8          | 0.08          | OK        |
| Max. procento smykové výztuže      | 6.2.3(3) | [*10 <sup>-3</sup> ] | 9.82       | 0            | 0             | Vyp.      |

*Obr. 64 - Vyhodnocení vhodnosti návrhu dle konstrukčních zásad*

**Posouzení v řezu 2**Posouzení kapacity - odezva a diagram průvlaku P1 v řezu 2**Extrémní hodnoty napětí / přetvoření v komponentě**

| Typ komponenty | Vlákno / prut | $\epsilon$<br>[‰] | $\epsilon_{lim}$<br>[‰] | $\sigma$<br>[MPa] | $\sigma_{lim}$<br>[MPa] | Jed. pos. [-] | Stav |
|----------------|---------------|-------------------|-------------------------|-------------------|-------------------------|---------------|------|
| Beton v tlaku  | 1             | -1.31             | -3.5                    | -12.5             | -16.7                   | 0,75          | OK   |
| Beton v tahu   | 7             | 2.27              | 0                       | 0                 | 0                       | 0,00          | OK   |
| Výztuž v tlaku | 15            | -0.99             | -45                     | -198              | -466                    | 0,42          | OK   |
| Výztuž v tahu  | 10            | 1.97              | 45                      | 394               | 466                     | 0,85          | OK   |

Obr. 65 - Posouzení kapacity materiálu

**Shrnutí posudku**

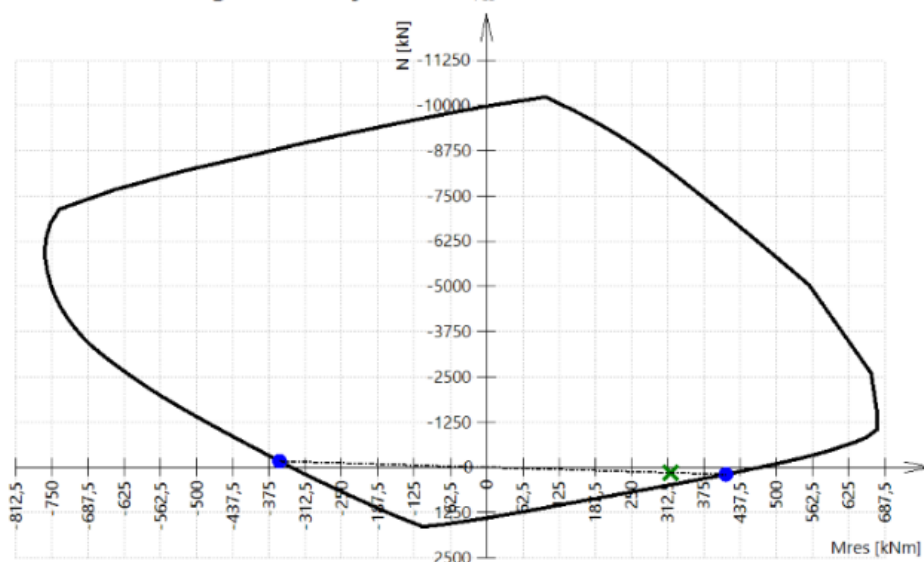
Síly:  $N_{Ed} = 150 \text{ kN}$   $M_{Edy} = -316 \text{ kNm}$   $M_{Edz} = 31.9 \text{ kNm}$

Odolnost:  $N_{Rd} = 195 \text{ kN}$   $M_{Rdy} = -411 \text{ kNm}$   $M_{Rdz} = 41 \text{ kNm}$

Výpočet jednotkového posudku.

$$UC = \frac{\sqrt{N_{Ed}^2 + M_{Edy}^2 + M_{Edz}^2}}{\sqrt{N_{Rd}^2 + M_{Rdy}^2 + M_{Rdz}^2}} = \frac{\sqrt{150^2 + (-316)^2 + 31.9^2}}{\sqrt{195^2 + (-411)^2 + 41.5^2}} = 0.77 \leq 1 \quad \text{OK}$$

Seznam varování, chyb a poznámek: N2/1.

**3D interakční diagram - svislý řez N-M<sub>res</sub>**

Obr. 66 - Interakční diagram

Posouzení smyku a kroucení průvlaku P1 v řezu 2**Síly**

Obsah kombinace: MSU-plnézatížení

 $N_{Ed} = 150 \text{ kN}$   $M_{Edy} = -316 \text{ kNm}$   $M_{Edz} = 31.9 \text{ kNm}$   $V_{Edy} = 15 \text{ kN}$   $V_{Edz} = -354 \text{ kN}$   $T_{Ed} = 38 \text{ kNm}$ 

Výslednice smykové síly

Rozdíl mezi úhly  $\alpha_M$  a  $\alpha_V$ 

$$V_{Ed} = \sqrt{V_{Edy}^2 + V_{Edz}^2} = \sqrt{15^2 + (-354)^2} = 354 \text{ kN}$$

$$\alpha_{MV} = \text{abs}(\alpha_M - \alpha_V) = \text{abs}(91.8 - 92.4) = 0.627^\circ$$

**Shrnutí posudku** $d = 545 \text{ mm}$   $z = 470 \text{ mm}$   $b_w = 300 \text{ mm}$   $b_{w1} = 300 \text{ mm}$   $V_{Rdc} = 96.5 \text{ kN}$   $V_{Rds} = 919 \text{ kN}$   $V_{Edmax} = 736 \text{ kN}$   $V_{Rdmax} = 694 \text{ kN}$  $A_k = 100000 \text{ mm}^2$   $u_k = 1400 \text{ mm}$   $T_{Rdc} = 24 \text{ kNm}$   $T_{Rds} = 106 \text{ kNm}$   $T_{Rdmax} = 88.6 \text{ kNm}$ 

| Typ posudku                           | Síly      | Únosnosti | Jed. pos.[-] | Stav |
|---------------------------------------|-----------|-----------|--------------|------|
| Posudek smyku $V_y+V_z$               | 354,2 kN  | 694,4 kN  | 0,51         | OK   |
| Posudek kroucení                      | 38,0 kNm  | 88,6 kNm  | 0,43         | OK   |
| Posudek interakce $V_y+V_z+T$ (beton) |           |           | 0,94         | OK   |
| Posudek interakce $V_y+V_z+T$ (smyk)  | 309,4 MPa | 400,0 MPa | 0,77         | OK   |
| Shrnutí posudku                       |           |           | 0,94         | OK   |

Obr. 67 - Vyhodnocení posudku – smyk a kroucení

Konstrukční zásady pro podélnou a smykovou výztuž průvlaku P1 v řezu 2**Nosník - Konstrukční zásady pro podélnou výztuž**

| Konstrukční zásady                                     | Norma             | Jedn.              | Vyp. hodn. | Pož. hodnota | Jed. pos.[-] | Posouzení |
|--|-------------------|--------------------|------------|--------------|--------------|-----------|
| Minimální vzdálenost prutů výztuže                     | 8.2(2)            | [mm]               | 70         | 37           | 0.53         | OK        |
| Maximální vzdálenost prutů výztuže                     | Normově nezávislé | [mm]               | 209        | 350          | 0.6          | OK        |
| Minimální plocha tahové výztuže                        | 9.2.1.1(1)        | [mm <sup>2</sup> ] | 2325       | 221          | 0.1          | OK        |
| Maximální plocha výztuže                               | 9.2.1.1(3)        | [mm <sup>2</sup> ] | 3622       | 20800        | 0.17         | OK        |
| Maximální vzdálenost prutů podle požadavků na kroucení | 9.2.3(4)          | [mm]               | 209        | 350          | 0.6          | OK        |

**Nosník - Konstrukční zásady pro třmínky**

| Konstrukční zásady                 | Norma    | Jedn.                | Vyp. hodn. | Pož. hodnota | Jed. pos.[-] | Posouzení |
|------------------------------------|----------|----------------------|------------|--------------|--------------|-----------|
| Min. průměr ohybů                  | 8.3(2)   | [mm]                 | 0          | 0            | 0            | Vyp.      |
| Max. podélná vzdálenost (smyk)     | 9.2.2(6) | [mm]                 | 150        | 400          | 0.38         | OK        |
| Max. podélná vzdálenost (kroucení) | 9.2.3(3) | [mm]                 | 150        | 200          | 0.75         | OK        |
| Maximální příčná vzdálenost        | 9.2.2(8) | [mm]                 | 0          | 0            | 0            | Vyp.      |
| Min. procento smykové výztuže      | 9.2.2(5) | [*10 <sup>-3</sup> ] | 13.7       | 0.8          | 0.06         | OK        |
| Max. procento smykové výztuže      | 6.2.3(3) | [*10 <sup>-3</sup> ] | 13.7       | 0            | 0            | Vyp.      |

Obr. 68 - Vyhodnocení vhodnosti návrhu dle konstrukčních zásad

#### 4.6.9 Omezení průhybu

##### Rozpětí pole

$$l_{eff} = 7980 \text{ mm}$$

##### Účinná výška průřezu

$$d_{dolní} = 0,538 \text{ m}$$

$$d_{horní} = 0,540 \text{ m}$$

##### Referenční stupeň vyztužení

$$\rho_0 = 10^{-3} \cdot \sqrt{f_{ck}} = 0,001 \cdot \sqrt{25} = 0,005$$

##### Stupeň vyztužení tahovou výztuží

$$\rho = \frac{A_{s1}}{b \cdot d} = \frac{0,00114}{0,3 \cdot 0,538} = 0,0091 \quad \rho_0 < \rho \rightarrow \text{udává vzorec}$$

##### Stupeň vyztužení tláčenou výztuží

$$\rho^l = \frac{A_{s2}}{b \cdot d} = \frac{0,00201}{2 \cdot 0,054} = 0,0038$$

##### Součinitel nosného systému

$$K = 1,3$$

$$\frac{l}{d} = 14,83$$

$$\left(\frac{l}{d}\right)_{mezni} = K \cdot \left[ 11 + 1,5 \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot \frac{\rho_0}{\rho - \rho^l} + \frac{1}{12} \sqrt{f_{ck}} \cdot \sqrt{\frac{\rho^l}{\rho_0}} \right]$$

$$\left(\frac{l}{d}\right)_{mezni} = 1,3 \cdot \left[ 11 + 1,5 \cdot \sqrt{25} \cdot \frac{0,005}{0,0091 - 0,0038} + \frac{1}{12} \sqrt{25} \cdot \sqrt{\frac{0,0038}{0,0091}} \right] = 18,34$$

$$\frac{l}{d} = 14,83 < \left(\frac{l}{d}\right)_{mezni} = 18,34 \quad \rightarrow \text{vyhoví}$$

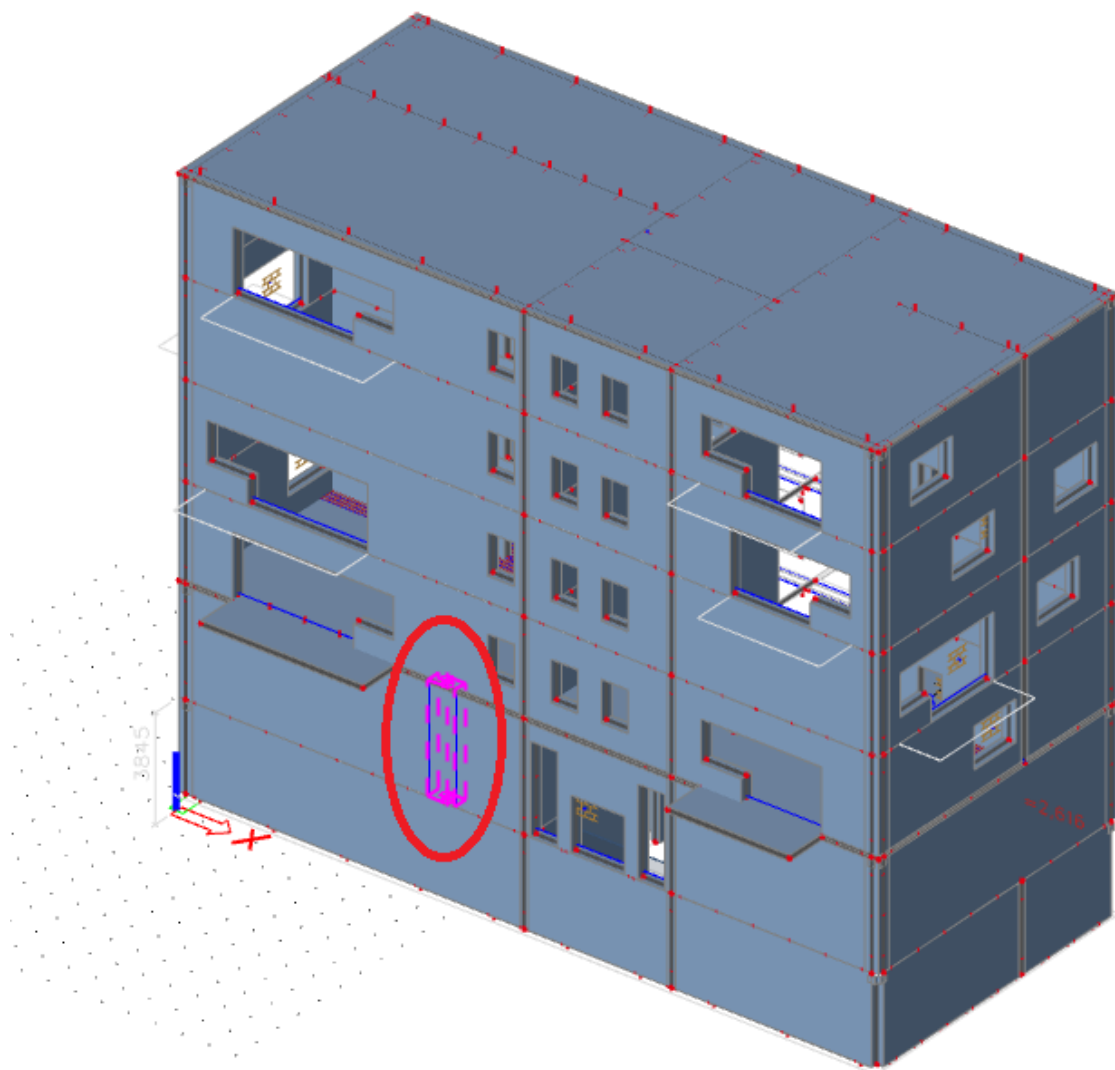
#### **Závěr**

Navržená výztuž vyhoví v kritických bodech na mezní stav únosnosti, proto tuto výztuž lze považovat za konečnou pro návrh.

#### 4.7 Zděná stěna

Nosná obvodová zděná stěna je svislá konstrukce, která musí přenést zatížení postupně ze všech podlaží do základového pásu.

Posuzovaná bude obvodová stěna v přízemí (suterénní stěna navržená ze železobetonu) uprostřed nejdelšího pole, kde se předpokládá největší zatížení, posudek podle R. Jeneše<sup>[11]</sup>.

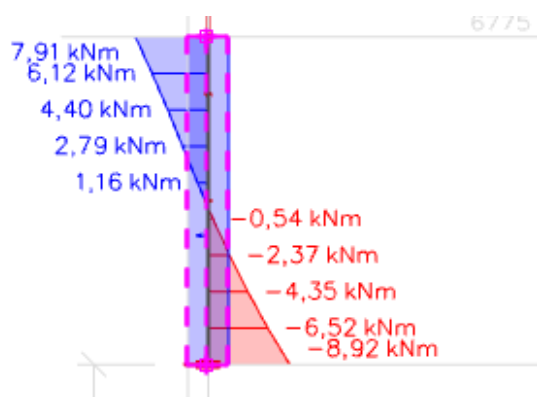
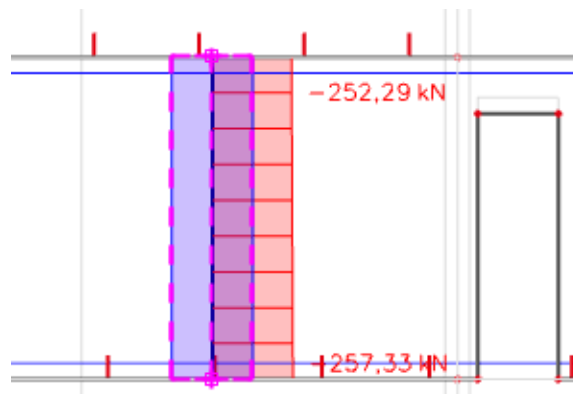


Obr. 69 - Posuzované místo

#### 4.7.1 Vnitřní síly ve stěně

##### Vnitřní síly

Pro získání vnitřních sil v daném místě stěny byla využita funkce integrační dílec, jež byl do tohoto místa vložen s rozměry 1 x 0,5 m. Na tomto dílci byly jako na jednoduchém prutu odečteny základní veličiny ( $N$ ,  $M$ ).

Obr. 70 - Průběh ohybových momentů  $M_z$ Obr. 71 - Průběh normálových sil  $N$ 

#### 4.7.2 Ruční ověření normálové síly

Zatěžovací šíře = 3,15 m

##### Vlastní tíha stěny

$$G_{0,k} = t \cdot h \cdot \gamma = 0,5 \cdot 3 \cdot 6,7 = 10,05 \text{ kN/m}$$

$$G_{0,d} = G_{0,k} \cdot 1,35 = 13,56 \text{ kN/m}$$

##### Ostatní stálá zatížení

$$G_{1,k} = \text{tíha podlahové krytiny} \cdot Z\check{S} = 2,3 \cdot 3,15 = 7,24 \text{ kN/m}$$

$$G_{1,d} = G_{1,k} \cdot 1,35 = 9,78 \text{ kN/m}$$

##### Tíha desek

$$G_{2,k} = t \cdot Z\check{S} \cdot \gamma = 3,15 \cdot 0,2 \cdot 25 = 15,74 \text{ kN/m}$$

$$G_{2,d} = G_{2,k} \cdot 1,35 = 21,25 \text{ kN/m}$$

##### Užitné zatížení

$$Q_{1,k} = q_k \cdot Z\check{S} = 2 \cdot 3,15 = 6,3 \text{ kN/m}$$

$$Q_{1,d} = 6,3 \cdot 1,5 = 9,45 \text{ kN/m}$$

Zatížení sněhem

$$Q_{2,k} = S_k \cdot Z\check{S} = 0,8 \cdot 3,15 = 2,52 \text{ nN/m}$$

$$Q_{2,d} = Q_{2,k} \cdot 1,5 = 3,78$$

Síla v patním průřezu stěny

$$N_{Ed} = n (G_{0,d} + G_{1,d} + G_{2,d} + Q_{1,d}) + Q_{2,d} = 4 (13,56 + 9,78 + 21,25 + 9,45) + 3,78$$

$$N_{Ed} = 220,94 \text{ kN/m}$$

$$N_{EdSCIA} = 257,33$$

→ výsledky na integračním dílci jsou důvěryhodné

n... počet pater ... 4



**4.7.3 Posouzení únosnosti zdiva**Výpočet únosnosti obvodového zdiva

Zdivo

POROTHERM  $f_k$  3,3 MPaKategorie I  $\gamma_M$  2,0

$$f_d = \frac{f_k}{\gamma_M} = 1,65 \text{ MPa}$$

Řešená stěna odpovídá variantě vzpěrné výšky a, hodnota indexu  $n = 2 \dots \rho_2 = 0,75$ .

$$h = KV - h_T = 3,1 - 0,4 = 2,7 \text{ m}$$

$$h_{ef} = \rho_2 \cdot h = 0,75 \cdot 2,7 = 2,025 \text{ m}$$

 $h \dots$  výška stěny k úrovni působícího zatížení

$$t_{ef} = 500 \text{ mm}$$

$$\frac{h_{ef}}{t_{ef}} < 27 \quad 4,05 < 27$$

Ověření spolehlivosti v hlavě stěny

$$N_{ed,1} = 252,66 \text{ kN}$$

$$M_{ed,1} = 7,91 \text{ kNm}$$

$$e_{d,1} = \frac{M_{ed,1}}{N_{ed,1}} = 0,031 \text{ m}$$

$$e_{init} = \frac{h_{ef}}{450} = 0,00405 \text{ m}$$

$$e_{fi} = \frac{tl.stěny}{2} - a = \frac{500}{2} - 250 = 0,05 \text{ m}$$

$$e_l = e_{fi} + e_{d,1} + e_{init} = 0,085 \text{ m}$$

$$\Phi = 1 - \frac{2 \cdot e_l}{t} = 0,658$$

$$N_{rd,2} = \Phi \cdot b \cdot t \cdot f_d = 0,542 = 542 \text{ kN} > 252,66 \text{ kN}$$

Ověření spolehlivosti v patě stěny

$$N_{ed,2} = 257,33 \text{ kN}$$

$$M_{ed,2} = 8,92 \text{ kNm}$$

$$e_{d,2} = \frac{M_{ed,2}}{N_{ed,2}} = 0,034 \text{ m}$$

$$e_{init} = \frac{h_{ef}}{450} = 0,00405$$

$$e_{fi} = \frac{tl.stěny}{2} - a = \frac{500}{2} - 250 = 0,05 \text{ m}$$

$$e_2 = e_{fi} + e_{d,2} + e_{init} = 88,05$$

$$\Phi = 1 - \frac{2 \cdot e_2}{t} = 0,646$$

$$N_{rd,2} = \Phi \cdot b \cdot t \cdot f_d = 0,532 = 532 \text{ kN} > 257,33 \text{ kN}$$

Ověření spolehlivosti ve středu stěny

$$N_{ed,m} = 254,81 \text{ kN}$$

$$M_{ed,m} = 1,16 \text{ kNm}$$

$$e_{d,m} = \frac{M_{ed,m}}{N_{ed,m}} = 0,00455 \text{ m}$$

$$e_{fi} = \frac{tl.stěny}{2} - a = \frac{500}{2} - 250 = 0,05 \text{ m}$$

$$e_{init} = \frac{h_{ef}}{450} = 0,00405 \text{ m}$$

$$e_{mk} = e_{d,m} + e_{fi} + e_{init} = 0,0595 \text{ m}$$

Stanovení zmenšujícího součinitele

$$\Phi_m = A_I e^{-\frac{u^2}{2}}$$

$$K_E = 300$$

$$E = K_E f_k = 990$$

$$\frac{h_{ef}}{t_{ef}} = 8,00 \text{ m}$$

$$A_I = 1 - 2 \frac{e_{mk}}{t} = 0,762$$

$$\frac{e_{mk}}{t} = 0,12 \text{ m}$$

$$\lambda = \frac{h_{ef}}{t_{ef}} \sqrt{\frac{f_k}{E}} = 0,233$$

$$-\frac{u^2}{2} = -0,041$$

$$u = \frac{\lambda - 0,063}{0,73 - 1,17 \frac{e_{mk}}{t}} = 0,288$$

$$\Phi_m = A_I e^{-\frac{u^2}{2}} = 0,731$$

e... základ přirozených logaritmu  $e = 2,718$

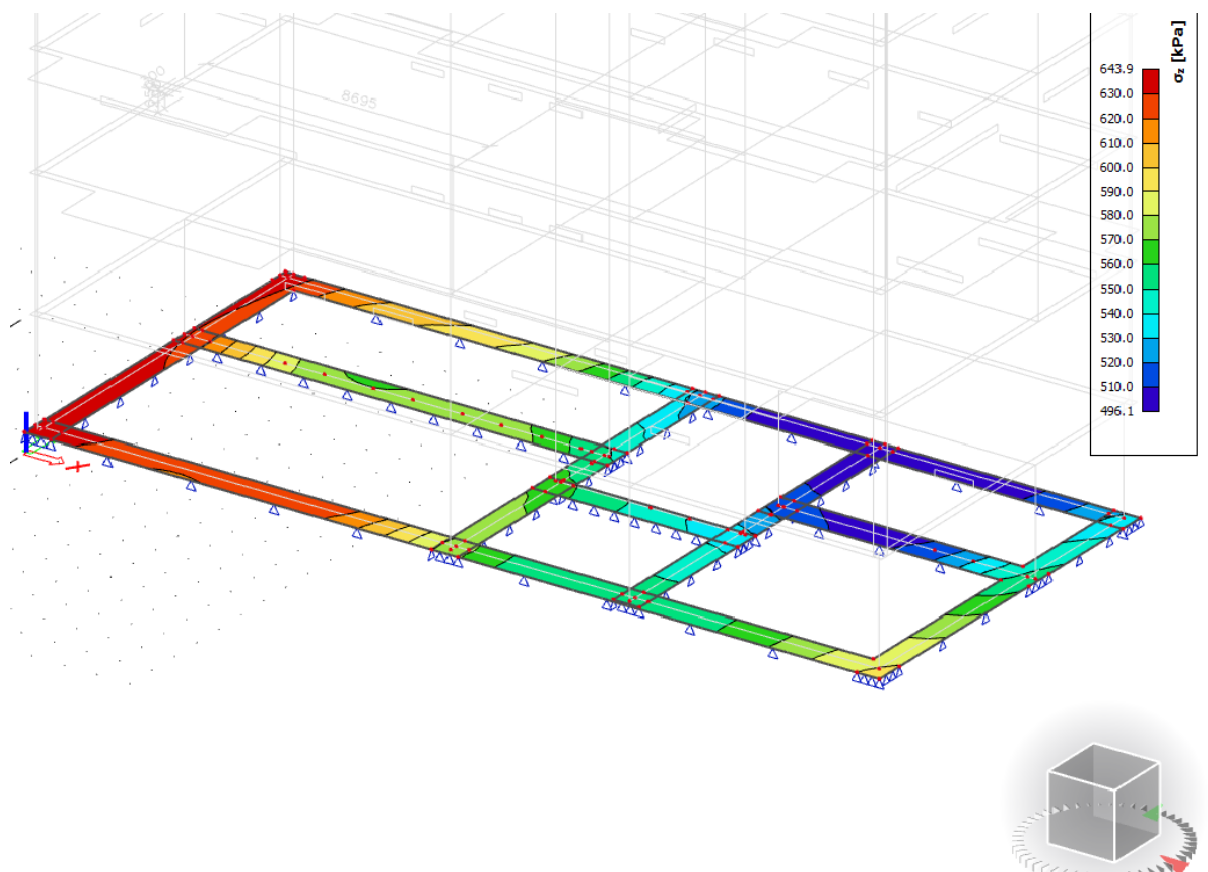
$$N_{Rd,m} = \Phi_m \cdot b \cdot t \cdot f_d = 0,603 = 603 \text{ kN} > 254,81 \text{ kN}$$

Obvodová stěna vyhoví ve všech kritických bodech.

## 4.8 Základ

### 4.8.1 Původní základ

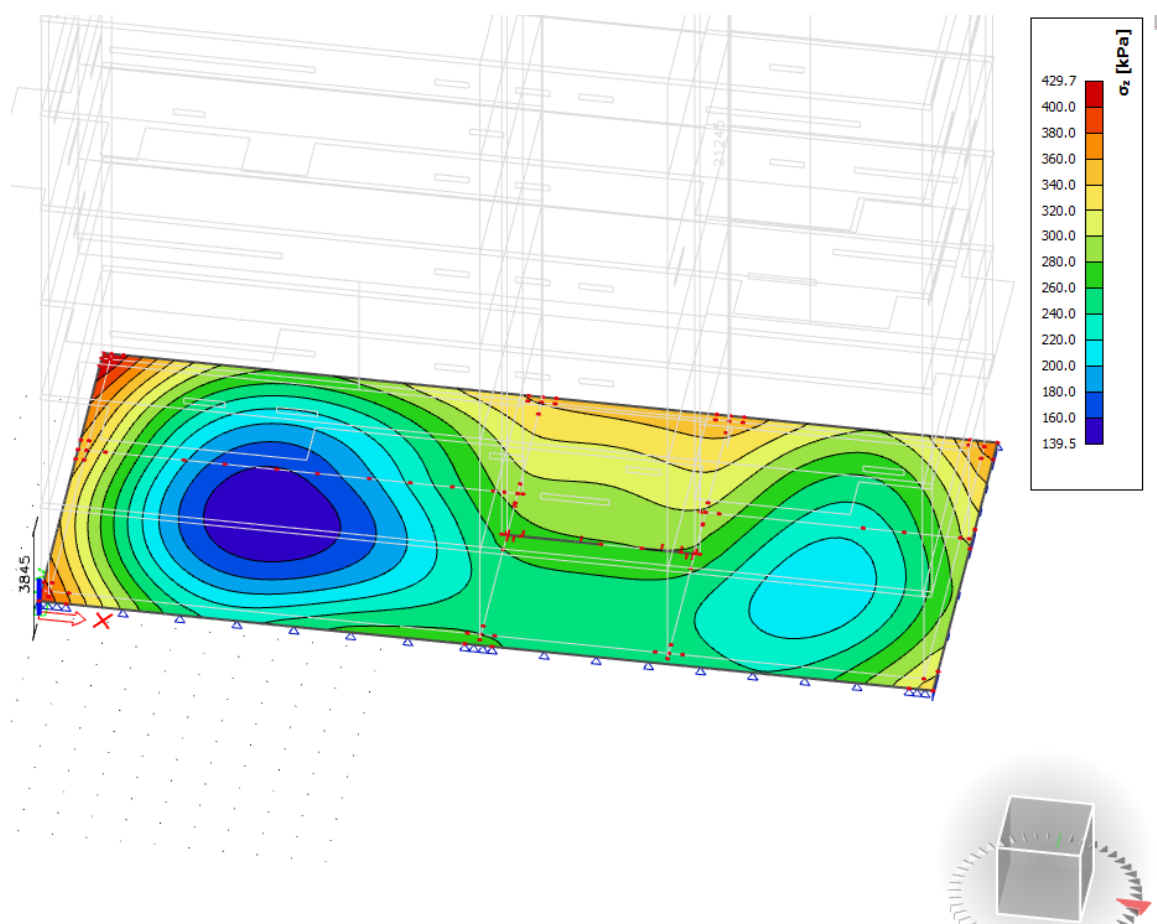
Při provedení základů dle původního návrhu architekta<sup>[7]</sup> jako pásy pod každou svislou nosnou konstrukcí o šířce 800 mm se kontaktní napětí  $\delta_z$  v základové spáře pohybuje v rozmezí od 496 po 646 kPa.



Obr. 72 - Napětí v základové spáře základových pásů

#### 4.8.2 Nový návrh

Jako alternativu základů, na níž by bylo maximální napětí do 500 kPa, bylo navrženo založení objektu na základové desce, na které je maximální napětí 430 kPa, a to jen v rozích na celkové ploše menší než 5 % celkové plochy základu.



Obr. 73 - Napětí v základové spáře základové desky

### 4.8.3 Posouzení základové půdy

Eurokód a norma ČSN 73 1001<sup>[6]</sup> předepisuje pro posuzování základové půdy pro návrh základů metodu mezních stavů.

#### Výpočtová únosnost $R_d$ pro 2. a 3. GK

(nebo mezní výpočtová únosnost) je hodnota zatížení základové půdy, která zaručuje, že s předepsanou pravděpodobností nebude dosažen mezní stav únosnosti.

Výpočtová únosnost  $R_d$  se pro základ s vodorovnou základovou spárou stanoví z obecného vzorce, který vychází ze vzorce Brinch-Hansena

$$R_d = c_d \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c + \gamma_1 \cdot d \cdot N_d \cdot s_d \cdot d_d \cdot i_d + \gamma_2 \cdot \frac{b}{2} \cdot N_b \cdot s_b \cdot d_b \cdot i_b$$

|                      |   |
|----------------------|---|
| $R_d$                | svislá výpočtová únosnost (kPa)                                     |
| $\gamma_1, \gamma_2$ | objemová tíha nad a pod základovou spárou                           |
| $b$                  | efektivní šířka nebo průměr základu                                 |
| $N_c, N_d, N_b$      | součinitelé únosnosti závisející na výpočtovém úhlu vnitřního tření |
| $d$                  | hloubka založení  |
| $c_d$                | výpočtová hodnota soudržnosti                                       |
| $s_c, s_d, s_b$      | součinitelé vyjadřující tvar základu                                |
| $d_c, d_d, d_b$      | součinitelé vyjadřující vliv hloubky založení                       |
| $i_c, i_d, i_b$      | součinitelé vyjadřující vliv šikmosti zatížení                      |

**Výpočet**

Jak už bylo dříve zmíněno<sup>[8]</sup>, v Ostravské pánvi se vyskytují nejčastěji jemnozrnné zeminy (jíly). Proto pro výpočet byla použita zemina s vlastností F8 – CH, tedy jíl s vysokou plasticitou.

|    |                |                      |                                      |        |         |          |                      |                      |
|----|----------------|----------------------|--------------------------------------|--------|---------|----------|----------------------|----------------------|
| F8 | CH<br>CV<br>CE | $\nu, \beta, \gamma$ | $\nu=0,42; \beta=0,37; \gamma=20,5;$ |        |         |          | vyšetří se zkouškami |                      |
|    |                | $E_{def}$            | 1 až 2                               | 2 až 4 | 4 až 6  | 6 až 8   | 8 až 10              | 10 až 15             |
|    |                | $c_u$                | 20                                   | 40     | 80      | 80 až 90 | 150                  | 80 až 90             |
|    |                | $\varphi_u$          | 0                                    | 0      | 0       | 3 až 10  | 0                    | 12 až 16             |
|    |                | $c_{ef}$             | 2 až 8                               |        | 6 až 14 | 14 až 28 | 14 až 22             | vyšetří se zkouškami |
|    |                | $\varphi_{ef}$       |                                      |        |         | 13 až 17 |                      |                      |

Tabulka hodnot pro zeminy

$$C_u = 80 \text{ kPa}$$

$$\varphi_{ef} = 15^\circ$$

$$\gamma = 20,5 \text{ kN/m}^3$$

$$\sigma_{max} = 430 \text{ kPa}$$

$$b \times L = 11,45 \times 26,1 \text{ m}$$

$$H_{ed} = 493,3 \text{ kN}$$

$$V_{ed} = 89\,650 \text{ kN}$$

$$\varphi_d = \frac{\varphi_{ef}}{\gamma_{m\varphi}} = \frac{15}{1,36} = 11,03$$

$$\gamma_{m\varphi} = \frac{\varphi}{(\varphi-4)} = \frac{15}{(15-4)} = 1,36$$

$$N_d = k_p \cdot e^{II \cdot \text{tg}\varphi_d} = \text{tg}^2 \cdot \left(45 + \frac{\varphi_{ef}}{2}\right) \cdot e^{II \cdot \text{tg}\varphi_d} = \text{tg}52,5^2 \cdot e^{II \cdot \text{tg}11,03} = 3,13$$

$$N_c = (k_p - 1) \cdot \cot\varphi_d = (1,69 - 1) \cdot \cot11,03 = 3,53$$

$$N_c = 1,5 \cdot (N_d - 1) \cdot \text{tg}\varphi_d = 1,5 \cdot (3,13 - 1) \cdot \text{tg}11,03 = 0,622$$

$$s_c = 1 + 0,2 \cdot \frac{b}{L} = 1 + 0,2 \cdot \frac{11,45}{26,1} = 1,1$$

$$s_d = 1 + \frac{b}{L} = 1 + 0,2 \cdot \frac{11,45}{26,1} \cdot \sin11,03 = 1,1$$

$$s_b = 1 - 0,3 \cdot \frac{b}{L} = 1 - 0,3 \cdot \frac{11,45}{26,1} = 0,868$$

$$d_c = 1 + 0,1 \cdot \sqrt{\frac{d}{b}} = 1 + 0,1 \cdot \sqrt{\frac{3,9}{11,45}} = 1,06$$

$$d_d = 1 + 0,1 \cdot \sqrt{\frac{d}{b} \sin 2\varphi_d} = 1 + 0,1 \cdot \sqrt{\frac{3,9}{11,45} \sin 22,06} = 1,035$$

$$d_b = 1$$

$$i_c = i_d = i_b = (1 + \text{tg}\delta)^2 = (1 - 0,0055)^2 = 0,98$$

$$\text{tg}\delta = \frac{H_d}{V_{ed}} = \frac{493,3}{89650} = 0,0055$$

$$R_d = c_d \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c + \gamma_1 \cdot d \cdot N_d \cdot s_d \cdot d_d \cdot i_d + \gamma_2 \cdot \frac{b}{2} \cdot N_b \cdot s_b \cdot d_b \cdot i_b$$

$$R_d = 40 \cdot 3,53 \cdot 1,1 \cdot 0,98 + 20,5 \cdot 3,9 \cdot 3,13 \cdot 1,1 \cdot 1,035 \cdot 0,95 + 20,5 \cdot \frac{11,45}{2} \cdot 0,622 \cdot 0,868 \cdot 1 \cdot 0,98$$

$$R_d = 485,55 \text{ kPa}$$

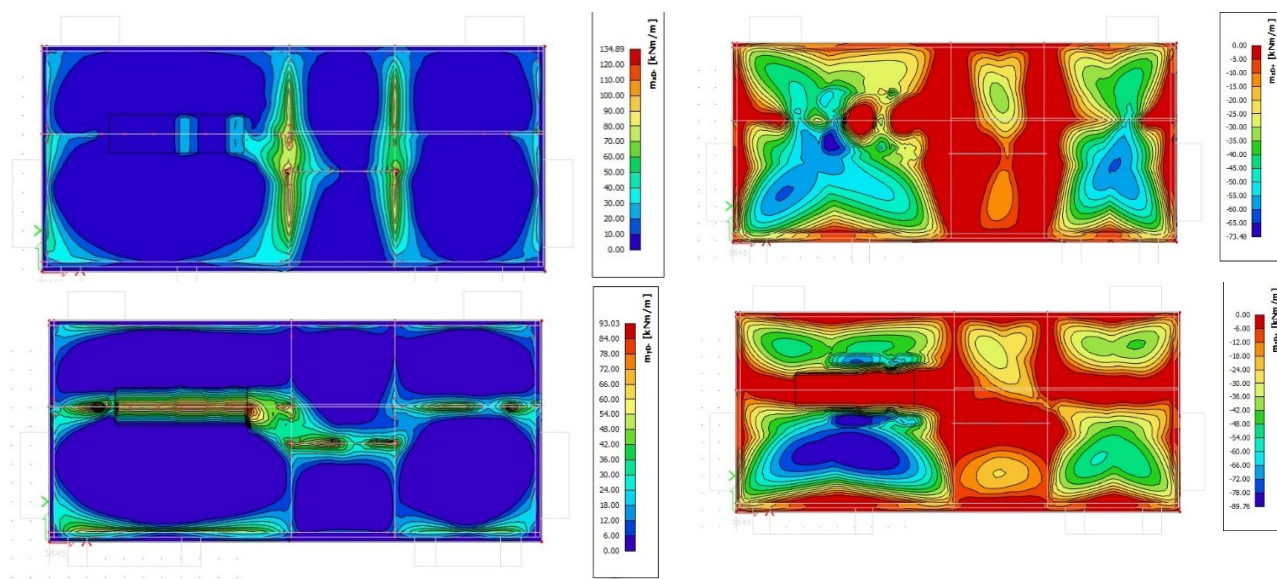
$$R_d = 485,55 \text{ kPa} > \sigma_{max} = 430 \text{ kPa} \quad \rightarrow \text{vyhoví}$$

Z těchto výsledků je zřejmé, že původní návrh základových pásů, kde  $\sigma_{max} = 634,9 \text{ kPa}$ , by nevyhověl.

### Návrh a posouzení výztuže v základové desce

Posouzení základové desky tloušťky 600 mm jako železobetonové konstrukce a návrh výztuže se bude lišit od ostatních desek tím, že vzhledem k její tloušťce bude navržena jako první výztuž minimální dle konstrukčních zásad a následně bude dodatečně navržena výztuž jen v místech, kde minimální vyztužení nevyhoví.

### Návrhové vnitřní síly základové desky



Obr. 74 – Průběh návrhových ohybových momentů na základové desce

|            |                           |
|------------|---------------------------|
| $m_{xD^+}$ | $= -73,48 \text{ kNm/m}$  |
| $m_{xD^-}$ | $= +134,89 \text{ kNm/m}$ |
| $m_{yD^+}$ | $= -89,76 \text{ kNm/m}$  |
| $m_{yD^-}$ | $= +93,03 \text{ kNm/m}$  |



Účinná výška průřezu

$$d_y = h_d - c_{nom} - \frac{\emptyset}{2} = 600 - 30 - \frac{16}{2} = 562 \text{ mm}$$

$$d_x = h_d - c_{nom} - \frac{\emptyset}{2} - \emptyset \text{ výztuže v ose y} = 150 - 30 - \frac{16}{2} - 16 = 94 \text{ mm}$$

Minimální plocha výztuže

$$A_{s,min} = \max \left( \begin{array}{c} 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b \cdot d \\ 0,0013 \cdot b \cdot d \end{array} \right) = 0,00076 \text{ m}^2$$

Maximální plocha výztuže

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot 0,6 \cdot 1 = 0,024 \text{ m}^2$$

Maximální osová vzdálenost

$$s_{max} = \min (2 \cdot h; 250 \text{ mm}) = \min (2 \cdot 600; 250 \text{ mm}) = 250 \text{ mm}$$

Minimální světlá vzdálenost

$$k_1 = 1,2; k_2 = 5; d_g = 16$$

$$s_{min} = \max(k_1 \cdot \emptyset; d_g + k_2; 20 \text{ mm}) = \max(1,2 \cdot 16; 16 + 5; 20 \text{ mm}) = 21,000$$

Návrh  $\emptyset$  16/200 mm u obou povrchů a v obou směrech

$$s = 200 \text{ mm}$$

$$A_{s,prov} = \frac{\pi \cdot \emptyset^2}{4} \cdot \frac{1000}{s} = \frac{\pi \cdot 0,016^2}{4} \cdot \frac{1000}{200} = 0,001005 \text{ m}^2$$

Síla ve výztuži

$$F_s = A_{s,prov} \cdot f_{yd} = 0,001005 \cdot 434,78 \cdot 10^6 = 436953,9 \text{ N}$$

Výška tlačené oblasti

$$x = \frac{F_s}{\lambda \cdot \eta \cdot f_{cd} \cdot b} = \frac{436953,9}{0,8 \cdot 16,67 \cdot 10^6} = 0,041 \text{ m}$$

Rameno síly výztuže ve směru x

$$z = d - 0,4 \cdot x = 562 - 0,4 \cdot 0,041 = 560,24 \text{ mm}$$

Rameno síly výztuže ve směru y

$$z = d - 0,4 \cdot x = 0,562 - 0,4 \cdot 0,041 = 0,546 \text{ m}$$

Moment na mezi únosnosti ve směru x

$$m_{Rd,y} = F_s \cdot z = 436953,9 \cdot 0,53 = 231,66 \text{ kNm/m}$$

$$m_{Rd,y} = 231,66 \text{ kNm/m} > m_{Ed,y} = 73,48; 134,89 \text{ kNm/m} \rightarrow \text{vyhoví}$$

Moment na mezi únosnosti ve směru y

$$m_{Rd,y} = F_s \cdot z = 436953,9 \cdot 0,546 = 238,65 \text{ kNm/m}$$

$$m_{Rd,y} = 238,65 \text{ kNm/m} > m_{Ed,y} = 89,76; 93,03 \text{ kNm/m} \rightarrow \text{vyhoví}$$

V obou směrech a u obou povrchů vyhoví výztuž navržená jako minimální, dle konstrukčních zásad nebude potřeba v žádném místě osazovat dodatečnou tahovou výztuž.

## 5. Závěr

Shrnutí všech konstrukčních změn, které byly postupně na budově provedeny kvůli statickému působení budovy.

### 5.1 Desky

U stropních desek byla tloušťka ve všech podlažích zmenšena o 50 mm, tedy ze 250 na 200 mm, kvůli hospodárnosti návrhu a snížení vlastní tíhy konstrukce.

Střešní deska byla ze stejných důvodů zkrácena o 100 mm, tzn. ze 250 na 150 mm, a to také kvůli menšímu zatížení desky.

### 5.2 Balkóny

Při posouzení průhybu po dobu životnosti byly zjištěny nadlimitní průhyby, proto bylo vyložení balkónů zkráceno o 0,5 m, tedy z původních 2000 mm na 1500 mm. Přepočítání potvrdilo, že k nadlimitním průhybům již nedojde.

### 5.3 Svislé nosné konstrukce

Kvůli návrhu architekta<sup>[7]</sup>, který navrhoval odstranit vnitřní nosnou stěnu z důvodu provozu prodejny a kavárny, musel být nově nad odstraněnou nosnou stěnou navržen v celé výšce konstrukce ztužující rám ze sloupů a průvlaků. Ty rovnoměrně přenášejí zatížení ze všech pater do základové konstrukce.

### 5.4 Základy

Původní návrh základových pásů, u nichž v základové spáře byly při uvažování jemnozrnných zemin a součinitele  $C = 25$  naměřeny podle SCIA Engineer 20.0 maximální hodnoty 634,9 kPa, byl změněn vzhledem k počtu pater budovy a podzemním podlažím na základovou desku.

## 6. Přílohy

Výkresová dokumentace je k diplomové práci přiložena ve formě přílohy a obsahuje:

- výkres 1: deska 2. NP, výztuž horní – jako vzor také pro ostatní stropní desky,
- výkres 2: deska 2. NP, výztuž dolní – jako vzor také pro ostatní stropní desky,
- výkres 3: střešní deska, výztuž horní,
- výkres 4: střešní deska, výztuž dolní,
- výkres 5: základová deska, výztuž horní,
- výkres 6: základová deska, výztuž dolní,
- výkres 7: průvlak P2 – jako vzor tako pro ostatní průvlaky výše položené,
- výkres 8: průvlak P1 – jako vzor tako pro ostatní průvlaky výše položené.

## 7. Zdroje

- [1] ČSN EN 1990 Zásady navrhování konstrukcí
- [2] ČSN EN 1991-1-1 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – část 1-1: Obecná zatížení – objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb
- [3] ČSN EN 1991-1-3 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – část 1-3: Obecná zatížení – zatížení sněhem
- [4] ČSN EN 1991-1-4 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – část 1-4: Obecná zatížení – zatížení větrem
- [5] ČSN EN 1992-1-1 Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby
- [6] ČSN 73 1001: Zakládání staveb. Základová půda pod plošnými základy
- [7] Bytový dům v Moravské Ostravě, Veronika Prokopová, Bakalářská práce na VŠB-TU Ostrava 2020
- [8] Typologie inženýrskogeologických charakteristik základových půd Ostravské pánve, Ing. Lucie Fojtová, Disertační práce na VŠB-TU Ostrava 2011
- [9] [online]. Copyright © [cit. 25.11.2020]. Dostupné z: [http://mech.fd.cvut.cz/education/master/18tik/download/prednasky-2017-2018/14\\_modely\\_podlozi.pdf](http://mech.fd.cvut.cz/education/master/18tik/download/prednasky-2017-2018/14_modely_podlozi.pdf)
- [10] Kulatina, Řezivo, Dřevoobráběcí stroje, Dřevotříska, Brikety, Palety [online]. Dostupné z: <https://www.drevari.cz/calc-standing-tree-volume.php#goToPage>
- [11] Zděné konstrukce, Základy navrhování, Ing. Rostislav Jeneš, Ing. Božena Podroužková, Studijní opory pro studijní programy s kombinovanou formou studia VUT Brno-FAST Brno 2005
- [12] Stavební materiál pro váš dům | Cihly Porotherm, střešní tašky Tondach [online]. Copyright © [cit. 27.04.2021]. Dostupné z: [https://www.wienerberger.cz/content/dam/wienerberger/czech-republic/marketing/documents-magazines/technical/technical-product-info-sheet/wall/CZ\\_POR\\_TEC\\_Pth\\_50\\_T\\_Profi\\_DF.pdf](https://www.wienerberger.cz/content/dam/wienerberger/czech-republic/marketing/documents-magazines/technical/technical-product-info-sheet/wall/CZ_POR_TEC_Pth_50_T_Profi_DF.pdf)

## 8. Seznam obrázků

- Obr. 1 - Situace – autor obrázku V. Prokopová <sup>[7]</sup>  
Obr. 2 - Pohledy – autor obrázku V. Prokopová <sup>[7]</sup>  
Obr. 3 - Perspektiva – autor obrázku V. Prokopová <sup>[7]</sup>  
Obr. 4 - Půdorys základu – autor obrázku V. Prokopová <sup>[7]</sup>  
Obr. 5 - Podélný řez budovy – autor obrázku V. Prokopová <sup>[7]</sup>  
Obr. 6 - Příčný řez budovy – autor obrázku V. Prokopová <sup>[7]</sup>  
Obr. 7 - Půdorys 1. nadzemního podlaží – autor obrázku V. Prokopová <sup>[7]</sup>  
Obr. 8 - Půdorys 2. nadzemního podlaží – autor obrázku V. Prokopová <sup>[7]</sup>  
Obr. 9 - Základní nastavení  
Obr. 10 - Celkový vzhled  
Obr. 11 - Vodorovné nosné konstrukce  
Obr. 12 - Ztužující věnec  
Obr. 13 - Svislé nosné konstrukce a nastavení zdiva  
Obr. 14 - Ztužující jádro  
Obr. 15 - Zdivo se součinitelem redukce klenbového roznosu 1  
Obr. 16 - Zdivo se součinitelem redukce klenbového roznosu 0,01  
Obr. 17 - Součinitel klenbového roznosu 0,01  
Obr. 18 - Součinitel klenbového roznosu 0,1  
Obr. 19 - Součinitel klenbového roznosu 1  
Obr. 20 - Rám nad odstraněným nosním zdivem  
Obr. 21 - Ukázka odstraněných nosných zdí  
Obr. 22 - Základy  
Obr. 23 - Generovaná síť a její nastavení  
Obr. 24 - Ostatní stálá zatížení  
Obr. 25 - Vygenerované 3D zatížení větrem  
Obr. 26 - Síla větru po výšce ve směru x  
Obr. 27 - Rozložení zatížení na stěně  
Obr. 28 - Síla větru po výšce ve směru y  
Obr. 29 - Rozložení zatížení ve směru y  
Obr. 30 - Tlak větru na plochou střechu  
Obr. 31 - Rozložení sil na ploché střeše  
Obr. 32 - Mapa sněhových oblastí – obrázek z ČSN EN 1991-1-3 (Eurokód 1) <sup>[3]</sup>  
Obr. 33 - Zatížení sněhem na konstrukci  
Obr. 34 - Zatížení balkónu na výkresu řezu a v modelu  
Obr. 35 - Šachovité rozdělení 1 užitého zatížení směr y, perspektiva a půdorys  
Obr. 36 - Šachovité rozdělení 2 užitého zatížení směr y, perspektiva a půdorys  
Obr. 37 - Průběh návrhových momentů stropní desky nad 1. PP  
Obr. 38 - Průběh návrhových momentů desky nad 1. NP  
Obr. 39 - Průběh návrhových momentů desky nad 2. NP  
Obr. 40 - Průběh návrhových momentů desky nad 3. NP  
Obr. 41 - Průběh návrhových momentů desky 5  
Obr. 42 - Průběh návrhových ohybových momentů na střešní desce  
Obr. 43 - Průběh ohybových momentů na integračním páse balkónu s charakteristickou kombinací zatížení  
Obr. 44 - Grafické stanovení hodnoty  $\varphi_{(\infty; t_0)}$   
Obr. 45 - Polohy posuzovaných průvlaků v ŽB rámu  
Obr. 46 - Nastavení kloubu na hraně plochy  
Obr. 47 - Označení šířek

- Obr. 48 - Rozměry průvzlaku*  
*Obr. 49 - Půdorysné umístění a rozměry průvzlaku a polí*  
*Obr. 50 - Průběh posouvajících sil*  
*Obr. 51 - Průběh ohybových momentů*  
*Obr. 52 - Výsledný rastr výztuže*  
*Obr. 53 - Výztuž v prvku a místa posudků v řezu*  
*Obr. 54 - Rozdělení a vlastnosti výztuže v řezu I*  
*Obr. 55 - Vyhodnocení odezvy*  
*Obr. 56 - Interakční diagram*  
*Obr. 57 - Vyhodnocení odezvy materiálu*  
*Obr. 58 - Vyhodnocení interakčního diagramu*  
*Obr. 59 - Rozdělení třmínků v oblastech s různými roztečemi*  
*Obr. 60 - Rozdělení výztuže v prvku a označení posuzovaných míst (řezů)*  
*Obr. 61 - Posouzení kapacity materiálu*  
*Obr. 62 - interakční diagram*  
*Obr. 63 - Vyhodnocení posudku – smyk a kroucení*  
*Obr. 64 - Vyhodnocení vhodnosti návrhu dle konstrukčních zásad*  
*Obr. 65 - Posouzení kapacity materiálu*  
*Obr. 66 - Interakční diagram*  
*Obr. 67 - Vyhodnocení posudku – smyk a kroucení*  
*Obr. 68 - Vyhodnocení vhodnosti návrhu dle konstrukčních zásad*  
*Obr. 69 - Posuzované místo*  
*Obr. 70 - Průběh ohybových momentů  $M_z$*   
*Obr. 71 - Průběh normálových sil  $N$*   
*Obr. 72 - Napětí v základové spáře základových pásů*  
*Obr. 73 - Napětí v základové spáře základové desky*  
*Obr. 74 - Průběh návrhových ohybových momentů na základové desce*